
Full HD 비디오를 위한 고성능, 저비용 히스토그램 평활화 방법

최정환* · 박종식** · 이성수***

A High-Performance and Low-Cost Histogram Equalization Scheme for Full HD Image

Jung-Hwan Choi* · Jong-Sik Park* · Seongssoo Lee**

이 논문은 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.
(NIPA-2011-C1090-1121-0010)

요 약

Image Signal Processor(ISP)의 한 블록인 Auto Exposure(AE)는 입력 영상의 밝기가 전체적으로 어둡거나 밝으면 적정 밝기로 조절하여 적당한 평균 밝기를 유지하는 기능을 한다. 하지만 AE는 영상의 전체 평균 밝기만 조절하기 때문에 영상의 명암대비 향상까지 기대하기는 어렵다. 특히 물체 인식이 필요한 분야에서는 ISP의 AE 만으론 명암 대비가 낮은 영상에서는 물체 인식이 어려워져 명암대비 향상 기술이 필요하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 ISP의 AE를 대체할 방법으로 Histogram Equalization(HE)를 제안한다. 또한 기존의 HE 문제점을 간단한 연산만으로 보완하고 하드웨어 구현에도 적합한 방법을 제안한다.

ABSTRACT

Auto exposure (AE) in image signal processor (ISP) controls brightness of input image to the proper brightness when it is too dark or bright. But conventional AEs often fail to get proper brightness since AE controls only average brightness of image. Especially in applications that require object recognition, it cannot be solved the problem by AE of ISP. In this paper proposes Histogram Equalization (HE) processes that is the alternative of AE. It also proposes proper method to realize hardware and compensate HE problems conventional by using simple calculation.

키워드

히스토그램 평활화, 자동 노출 조정, 이미지 시그널 프로세서, 풀 HD 비디오

Key word

Histogram equalization, Auto exposure, Image signal processor, Full HD Video

* 준회원, 송실대학교
** 정회원, 송실대학교
*** 정회원, 송실대학교 (교신저자, sslee@ssu.ac.kr)

접수일자 : 2011. 01. 19
심사완료일자 : 2011. 03. 03

I. 서 론

Image Signal Processor(ISP)는 이미지 센서로부터 입력되는 영상 신호를 응용 어플리케이션에서 사용할 수 있도록 전처리를 해주는 프로세서이다. ISP에는 Color Interpolation, Color Correction, Gamma Correction, Color space conversion을 거쳐서 Auto white balance, Auto exposure(AE) 등 마지막 영상 보정 처리를 한다.

특히 AE는 영상의 밝기를 계산해 적절한 밝기 정도로 자동으로 설정해주는 블록으로 카메라 시스템에서 필수적으로 포함된다. 일반적인 AE는 영상의 평균밝기를 계산하여 설정한 목표 밝기가 되도록 Gain을 조정한다. 이러한 AE는 화면의 밝기를 조정하여 영상의 부자연스러움을 해결하지만 비전시스템에서 필요한 물체의 특징 추출에는 부족하다. 특히 영상의 밝기가 특정한 범위 내에 집중되어 있을 경우 AE만으로는 물체의 경계선이나 특징 등을 구분해내기 매우 어렵다.[1] 이러한 경우 집중적으로 분포되어 있는 밝기를 본래의 밝기 간격보다 넓게 처리하는 작업을 통해 영상의 명암대비를 향상시키는 작업이 필요하다.

히스토그램 평활화는 명암대비 향상기법으로 명암대비 향상 이외에도 영상의 평균 밝기 값을 일정하게 해주기 때문에 ISP의 AE 기능을 대체할 수 있다. 히스토그램 평활화는 하드웨어 구현에도 히스토그램을 저장할 메모리 공간만 있으면 연산이 단순하기 때문에 영상의 사이즈가 커짐에 따른 높은 처리속도 요구에 대한 부담이 적다.

일반적인 히스토그램 평활화는 영상의 히스토그램 누적 분포 함수를 이용하여 출력을 생성함으로 출력 영상이 밝은 방향으로 평활화를 하게 된다. 이러한 특성 때문에 입력 영상의 밝기가 낮거나 높은 대역에 집중되어 있으면, 출력 영상이 왜곡되어 명암대비는 향상되어도 부자연스러운 결과를 얻게 된다.

이러한 히스토그램 평활화의 단점을 보완하는 알고리즘은 BBHE(Brightness preserving Bi-Histogram Equalization)[2], DSIHE (Dualistic Sub-Image Histogram Equalization)[3], RMSHE (Recursive Mean-Separate Histogram) [4] 등 다양하게 존재하지만 그 방법이 복잡하고 연산량이 많아져 하드웨어로 구현 하면 ISP 칩 전체의 성능 저하를 불러온다.[5]

본 연구는 ISP의 AE 블록을 보완할 수 있는 방법으로 히스토그램 평활화를 제안하고 또한 기존 히스토그램 평활화의 문제점을 보완하여 하드웨어 구현에도 효과적인 히스토그램 평활화 방법을 제안한다.

본 논문에서는 기존 AE와 히스토그램 평활화의 성능 비교를 통해 히스토그램 평활화의 효율성을 입증하고, 기존 히스토그램 평활화의 문제점을 보완한 새로운 히스토그램 평활화 알고리즘을 제안한다. 그리고 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘의 우수성을 입증하고 하드웨어 구현 방법을 제시한다.

II. 자동 노출 조정과 히스토그램 평활화

2.1. 자동 노출 조정

AE는 영상의 밝기를 관원의 조도와 관계없이 항상 최적의 상태로 유지하는 장치 및 디지털 제어기술을 말한다. AE는 투사되는 빛의 양을 감지하여 Iris, Shutter speed, Analog gain control을 제어한다. 기본적인 방법은 전체 평균 밝기를 설정한 밝기와 동일하게 유지 하는 것이다. Figure.1 은 AE Gain을 구하는 과정이다. Frame0에서 영상 전체의 밝기 평균을 구하고, Frame1에서 Gain을 구한다. 이렇게 구한 Gain은 Frame2에 적용된다. 이것을 식으로 나타내면 식(1), 식(2)와 같다.[6] 식(1)은 Frame2에 적용되는 Gain을 나타내고, 식(2)는 Pixel에 적용되는 방법을 나타낸다.

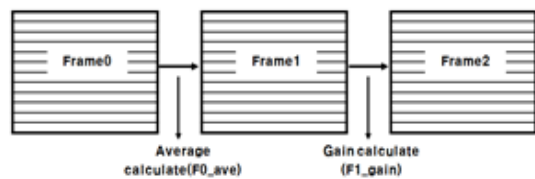


그림 1. 자동 노출 조정 가중치 계산
Fig. 1 Auto exposure gain calculate

$$Frame2_Gain = \frac{Target_Y}{Frame0_AVE} \quad (1)$$

$$Pixel_{out} = Frame2_Gain \times Pixel_{in} \quad (2)$$

비전시스템에서는 적정 밝기뿐만 아니라 물체의 구별성이 강조돼야 한다. 기존의 AE는 영상의 밝기만 조절하여 강한 노출이나 약한 노출의 경우 보정이 되나, 명암 향상에는 도움이 안 된다. 하드웨어 구현 측면에서도 영상의 평균 밝기가 일정한 값이 아니기 때문에 나눗셈 연산이 불가피하며, 각 화소에 Gain을 적용할 때도 곱셈 연산이 적용이 불가피하여 고화질 영상으로 갈수록 성능이 떨어지는 단점이 있다.

2.2. 히스토그램 평활화

HE는 입력 영상의 히스토그램을 이용하여 변환 함수를 생성하는 것으로 입력 영상의 히스토그램 분포와 상관없이 출력 영상이 낮은 밝기에서부터 높은 밝기까지 균등하게 분포하게 만든다.

식(3)의 $CDF(n)$ 는 입력 영상의 히스토그램 ($Hist(n)$)의 누적 분포 함수(Cumulative Distribution Function)로 자기 자신을 포함한 이하의 값을 모두 더한 값이 출력이 된다. 식(3)을 전체 픽셀수로 나누고 밝기의 최대값을 곱해주면 해당 밝기의 변환 값이 구해진다. 식(4) 영상에 적용되는 방법은 식(4)로 구해진 Look-up table($HE(n)$)을 이용하여 식(5)와 같이 별도의 연산 없이 적용이 가능하다.[7]

$$CDF(n) = \sum_{k=0}^n Hist(k) \quad (3)$$

$$HE(n) = \frac{CDF(n)}{Pixel_{total}} \times 255 \quad (4)$$

$$Pixel_{out} = HE(Pixel_{in}) \quad (5)$$

2.3. AE와 HE 비교

그림 2는 AE와 HE의 성능 비교를 보여준다. 그림 2의 (a)는 원본 이미지로 왼쪽 그림은 비교적 고른 히스토그램 분포를 가진 이미지이고, 오른쪽 그림은 밝기가 높은 부분에 집중 분포되어 있는 이미지이다.

비교적 고른 히스토그램 분포를 가진 이미지의 경우 원본 이미지와 AE 이미지가 별 차이가 없다. HE 이미지의 경우 전체 평균 밝기 값을 유지하면서 명암대비가 향상된 모습을 확인할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 2. 성능 비교

(a) 원본 이미지 (b) 자동 노출 조정 이미지 (설정밝기=127) (c) 히스토그램 평활화 이미지

Fig. 2 Comparison of performance

(a) Original image (b) Auto exposure image (target=127) (c) Histogram equalization image

밝기가 높은 부분에 집중되어 있는 이미지의 경우, AE 이미지는 목표 밝기에 맞추기 위해 이미지 전체의 밝기를 낮추어 이미지가 왜곡되는 모습을 볼 수가 있다. HE 이미지의 경우 명암 대비가 크게 향상되었으나 원본 이미지와 밝기 차이가 커져서 부자연스러운 모습을 보인다.

하드웨어 구현 측면에서 비교해보면, AE는 식(1)과 같이 Gain을 계산하기 위해 나눗셈 연산의 사용이 불가

피 하다. 영상에 Gain을 적용할 때는 식(2)와 같이 곱셈 연산이 필요하다. AE는 영상의 사이즈가 커질수록 나뉠셈 연산과 곱셈 연산에 대한 부담이 증가하는 어려움이 있다. HE는 식(4)와 같은 과정으로 Look-up table 생성한다. 하지만 영상의 픽셀 합이나 밝기의 최대값은 항상 일정함으로 이를 개선하면 곱셈과 나뉠셈 연산 없이 구현이 가능하다. 영상에 적용하는 방법도 Look-up table을 이용하기 때문에 별도의 연산 없이 빠르게 수행할 수 있다.

III. 제안한 히스토그램 평활화 방법

3.1. 기존 히스토그램 평활화의 문제점

HE는 간단한 연산만을 이용하여 영상의 명암 대비를 향상시킬 수 있다. 하드웨어 구현 측면에서도 나뉠셈과 곱셈연산이 없어 용이하다.

하지만 특정 영역에 밝기가 집중 분포해 있을 경우 그림 2(c)와 같이 부자연스러운 영상이 될 수 있다. 왜냐하면 누적 분포 함수 특성상 자신을 포함하여 계산하기 때문이다.

특히 집중 분포 되어 있는 영역이 어두운 부분일 경우 해당 영역이 심하게 밝은 영역으로 변환되어 부자연스러운 모습이 나타난다. 그림 3은 HE의 문제점을 보여주고 있다. 그림 3(a)는 특정 영역에 밝기가 분포되어 있다. 특히 가장 어두운 부분은 다른 밝기 부분에 비해 두가 가량 많다. 그림 3(b)는 원본 이미지가 평균적인 밝기이기 때문에 밝기 변화와 명암대비 변화가 거의 없다. 그림 3(c)는 명암대비는 원본 이미지나 AE 이미지에 비하여 향상되었으나, 히스토그램 분포가 밝기가 높은 방향으로만 처리되어 부자연스러운 모습을 볼 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 다양한 방법이 제시되어 왔다. 이러한 방법들은 하나 이상의 히스토그램을 요구하며 연산량과 복잡도가 높다.[5] 특히 고화질 영상을 요구하는 시스템에서는 연산량과 복잡도가 높아지면 영상의 실시간 처리가 어려워지고, 하드웨어로 구현하기에 어려움이 많다.

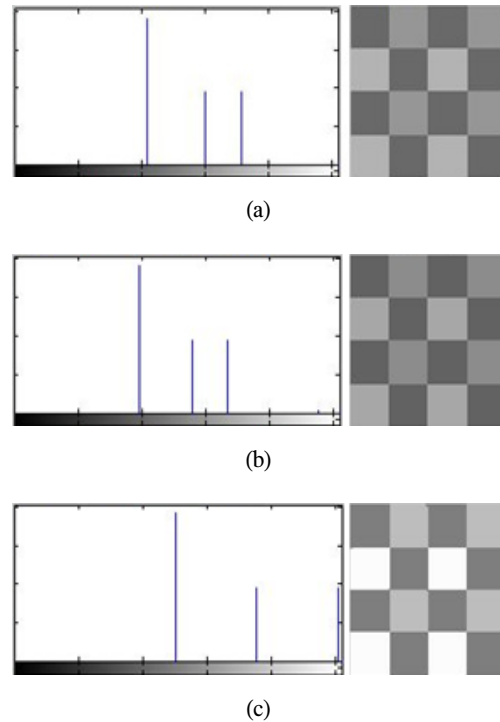


그림 3. 기존 HE의 문제점
 (a) 원본 이미지/히스토그램 (b) 자동 노출 조정 이미지/히스토그램 (목표밝기=127)
 (c) 기존 히스토그램 평활화 이미지/히스토그램
 Fig. 3 Weakness of Conventional HE
 (a) Original image/histogram (b) Auto exposure image/histogram (target=127) (c) Conventional histogram equalization image/histogram

3.2. Proposed histogram equalization

본 논문에서는 기존의 HE의 취약점을 보완하고, 처리 속도와 하드웨어 구현에도 용이한 명암 대비 향상 방법을 제안한다.

기존 방법의 문제점은 한 방향만의 누적 분포 함수를 이용하였기 때문에 나타나는 현상이다. 그렇기 때문에 식(6)과 같이 역방향 누적 분포 함수를 이용하면 보완할 수 있다. 역방향 누적 분포 함수는 순방향 누적 분포 함수와 반대로 밝기의 최대값(255)부터 값이 작아지는 방향으로 누적 분포 함수를 생성하는 방법이다. 순방향 누적 분포 함수를 이용한 HE 방법인 식(4)와 역방향 누적 분포 함수를 이용한 HE인 식(6)에 같은 가중치를 주면 식(7)와 같이 나타낼 수 있다.

$$HE_{inv}(n) = \frac{Pixel_{total} - CDF_{inv}(n)}{Pixel_{total}} \times 255 \quad (6)$$

$$Proposed_HE(n) = \frac{HE(n)}{2} + \frac{HE_{inv}(n)}{2} \quad (7)$$

$$= \frac{Pixel_{total} + CDF(n) - CDF_{inv}(n)}{Pixel_{total} \times 2} \times 255$$

식(7)에서 $CDF_{inv}(n)$ 는 $Pixel_{total} - CDF(n) + Hist(n)$ 으로 표현이 가능하므로 이것을 식(7)에 적용하면 식(8)과 같이 정리할 수 있다.

$$Proposed_HE(n) = \frac{CDF(n) - \frac{Hist(n)}{2}}{Pixel_{total}} \times 255 \quad (8)$$

식(8)은 하드웨어 구현 측면에서의 추가만으로 구현이 가능하므로 기존의 HE 방법과 비슷하다. 그림 4는 제안한 HE의 시뮬레이션 결과이다. 제안한 HE의 시뮬레이션 결과를 보면 그림 3의 원본 이미지나 기존의 HE에 비하여 명암 대비가 향상되었음을 볼 수 있다. 히스토그램 분포 역시 낮은 밝기나 높은 밝기 한곳에 집중되지 않고 고르게 된 것을 볼 수 있다.

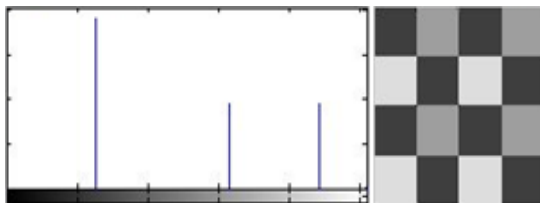
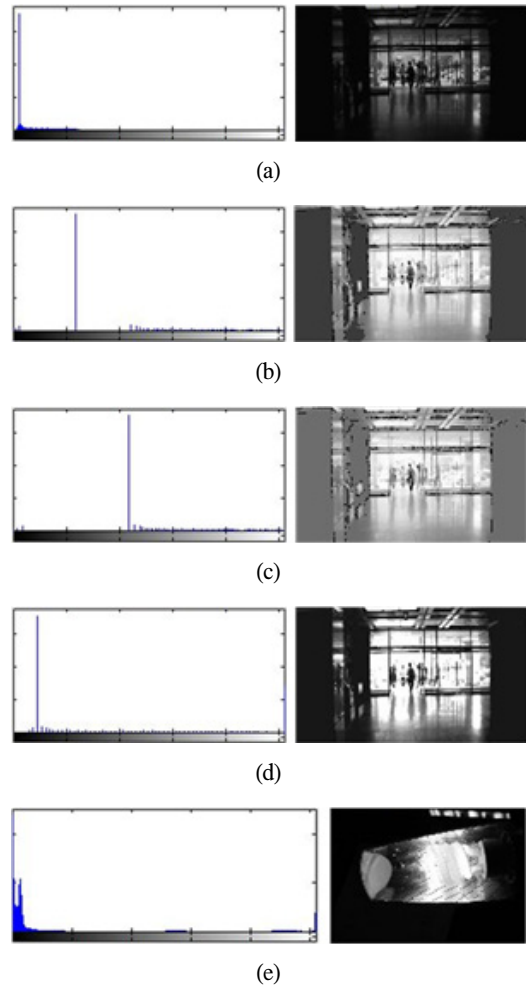


그림 4. 제안한 HE 방법
Fig. 4 Proposed HE method

3.3. 시뮬레이션 결과

그림 5는 제안한 HE 방법과 기존 HE 방법 그리고 AE 결과 영상을 보여주고 있다. 실험 영상들은 전체적으로 어둡고 좁은 히스토그램 분포를 가지고 있다. 그림 5(b)(f)(j)는 AE 결과로 전체적으로 어두운 영상을 평균 밝기로 강제적인 변환을 하면서 원래 밝기가 높은 영역이 포화되어 번짐 현상이 나타났다.

그리면서도 집중 분포되어 있는 낮은 밝기 부분을 제대로 평활화하지 못하여 명암 대비도 떨어진다. 그림 5(c)(g)(k)는 기존의 HE 방법의 결과이다. 전체적으로 AE에 비하여 좋은 결과를 얻었지만 히스토그램을 보면 가장 어두운 영역이 높은 밝기로 크게 이동하였으며, 특히 밝은 영역은 누적 분포 함수의 특성에 따라 최대값 부근에 분포되어 평활화가 제대로 되지 않은 모습을 보인다. 그림 5(d)(h)(l)는 제안한 HE 방법의 결과이다. 제안한 HE 방법은 기존의 HE 방법에 비하여 어두운 부분은 조금 더 어둡게 하면서 밝은 부분 또한 기존 HE 방법에 비해 평활화가 잘된 모습을 보인다.



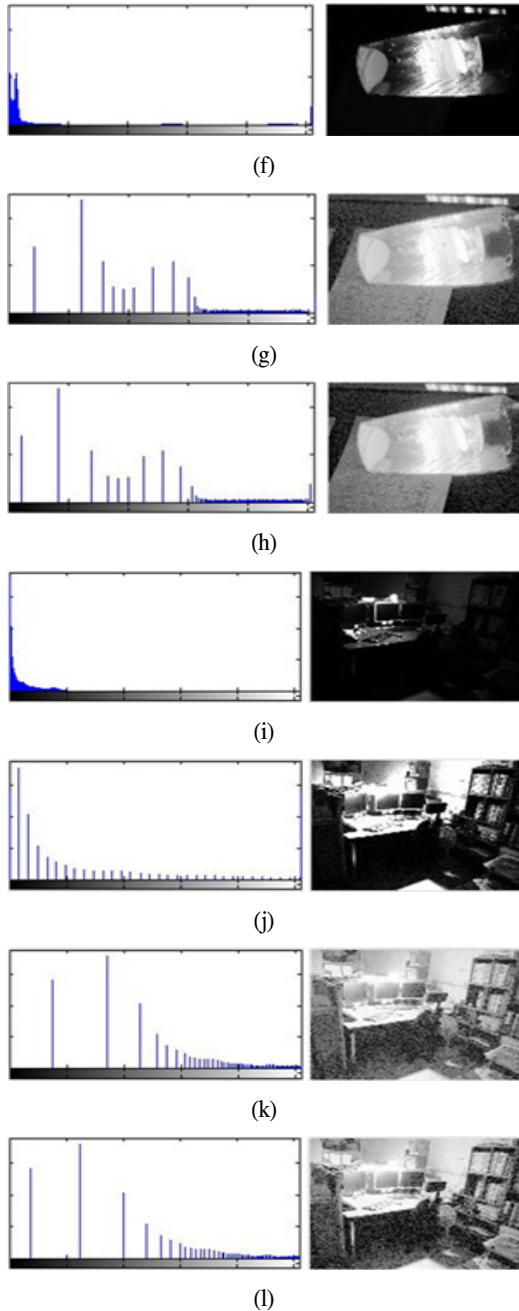


그림 5. 제안한 HE 시뮬레이션 결과 (a)(e)(i) 원본 (b)(f)(j) 자동 노출 조정(c)(g)(k) 기존 히스토그램 평활화 (d)(h)(l) 제안한 히스토그램 평활화
 Fig. 5 Proposed HE simulation result (a)(e)(i) Original (b)(f)(j) Auto exposure(c)(g)(k) Conventional histogram equalization(d)(h)(l) Proposed histogram equalization

IV. 하드웨어 구현

4.1. 픽셀 샘플링

제안한 HE의 타겟 영상 사이즈는 Full HD (1920×1080)이다. Full HD는 2백만 pixel 정도이며, 이 정도의 사이즈 영상의 히스토그램을 구하려면 16.59Kb의 메모리가 필요로 한다. 영상을 샘플링하면 메모리 사용량도 줄어들고 HE의 연산량 또한 줄어들어 하드웨어 자원의 효율성을 높일 수 있다. 일반적으로 고선명 영상과 이 영상을 일정 크기로 줄인 저해상도 영상 간에 영상의 정보 차원에서 큰 차이점을 찾기는 힘들다. 그림 6과 같이 1920×1080 크기의 영상을 1/16크기로 샘플링하면 원본 영상과 샘플링한 영상의 평균 밝기 오차는 0.0442로 무시할 정도이다.[8],[9]

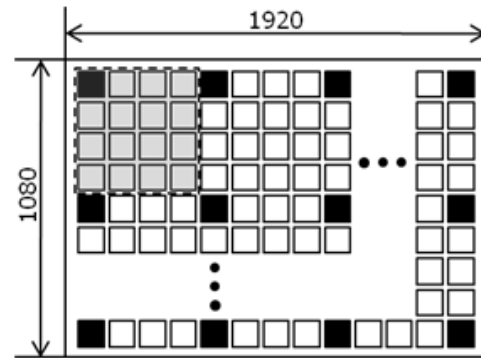


그림 6. 1/16 화소 샘플링
 Fig. 6 1/16 Pixel sampling

4.2. 나눗셈 연산 최적화

샘플링 된 화소들은 총 129,600 화소이며 17bit으로 표현되는 수는 131.072이다. 샘플링 된 총 화소와 17bit으로 표현되는 수의 차이는 1,472에 불과 하며 이는 전체의 0.11%에 해당한다. 본 논문에서는 식(8)에서 총 화소수로 나눗셈 연산 부분을 단순화시키기 위해 17bit 만큼 Shift하는 방법으로 처리하여 나눗셈 연산을 최적화 하였다. 또한 최적화 과정에서 발생하는 오차를 줄이기 위해 히스토그램 생성 단계에서 모든 히스토그램 초기 값을 5으로 적용하여 오차에 의해서 어두워지는 밝기를 조정하였다.

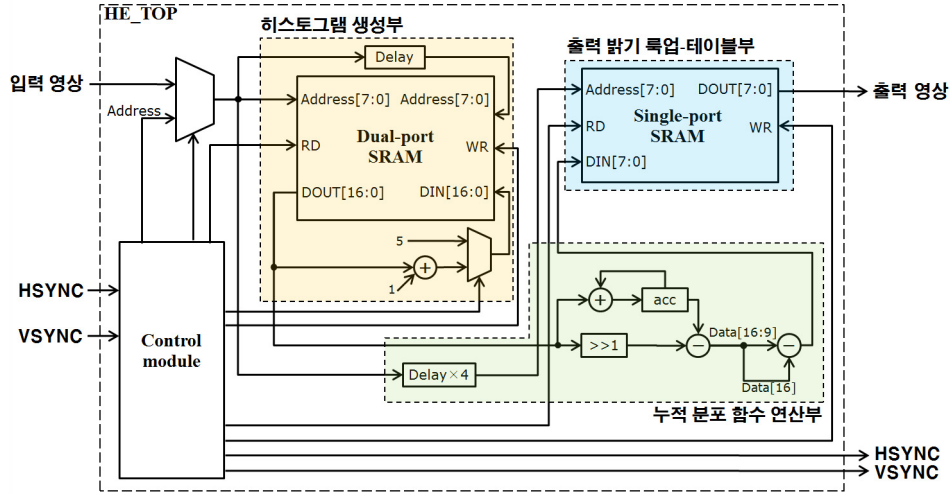


그림 7. 제안한 HE 하드웨어 구조
Fig. 7 Proposed HE hardware architecture

4.3. 하드웨어 구조

그림 7은 제안한 HE의 하드웨어 구조이다. 히스토그램 생성부는 입력영상의 히스토그램을 생성하기 위하여 17×256 bit의 dual port SRAM을 사용하였다. 누적 분포 함수 연산부는 식(8)을 구현한 모습이다. 출력 밝기 룩업-테이블부는 식(8)의 결과가 저장되는 모듈로 8×256 bit의 single port SRAM을 사용하였다. Control Module은 영상의 Vsync 및 Hsync를 입력받아 다른 모듈의 동작을 결정한다.

입력되는 화소 값은 dual port SRAM(히스토그램 생성부)의 주소가 되어 해당 주소의 값을 1만큼 증가시킨다. frame 전체의 화소 값의 입력이 끝나면, 입력된 frame의 히스토그램은 완성이 되고, 누적 분포 함수 연산부에서 영상의 Vsync 동안 출력 밝기 룩업-테이블부 (Single port SRAM)를 생성한다. 이렇게 생성된 출력 밝기 룩업-테이블부는 다음 frame에 적용되어 출력 화소 값을 만들어 내보낸다.

4.4. 하드웨어 구현 결과

표 1은 TSMC 0.13um standard library와 저전력 SRAM 컴파일러를 사용하여 제안한 HE를 하드웨어로 구현한 결과이다. 표 1에서 Original은 기존 HE 방법을 나눗셈기를 사용하여 구현한 결과이며, Conventional은

기존 HE 방법을 미리 계산된 상수를 이용하여 나눗셈기를 사용하지 않고 곱셈기를 이용하여 구현한 결과이다.[7] 사이즈 결과만 보면 제안한 하드웨어 구조는 픽셀 샘플링 방법을 사용하여 DP_SRAM(영상 히스토그램) 사이즈가 19.0% 감소하였음을 알 수 있다. Logic 사이즈 또한 나눗셈 모듈의 최적화를 통해 Original 대비 87.2% 감소하였고, Conventional 대비 18.7% 감소하였다. 전체 면적은 Original 대비 38.2%, Conventional 대비 15.5% 감소하였다.

표 1. 합성 결과
Table. 1 Synthesis results

Gate count	Original	Conventional	Proposed
DP_SRAM	20076	20076	16252
SP_SRAM	4946	4946	4946
Logic	11721	1849	1502
Total	36743	26871	22700

V. 결 론

본 논문에서는 기존의 ISP의 AE 기능이 물체인식이나 명암대비 향상이 필요한 분야에서 사용의 한계를 설

명하고, 이를 대체할 수 있는 방법으로 영상의 화질 개선을 위한 가장 대표적인 방법인 히스토그램 평활화를 제안하였다. 또한 기존 히스토그램 평활화의 문제점을 설명하고, 이를 해결하는 방법으로 양방향 누적 분포 함수를 사용하여 고성능, 저비용 히스토그램 평활화 방법을 제안하고, 이를 실험과 구현을 통해 성능을 입증하였다.

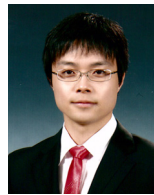
참고문헌

- [1] H.Yoon, H.Han, "Contrast enhancement using a density based sub-histogram equalization technique," *Journal of IEK*, vol.46, SC no.1, pp.10-21, 2009
- [2] Y. Kim, "Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 43, issue 1, pp.1-8, 1997.
- [3] Y. Wan, Q. Chen, B.-M. Zhang, "Image enhancement based on equal area dualistic sub-image histogram equalization method", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 45, issue 1, pp.68-75, 1999.
- [4] S. D. Chen. A. Rahman Ramli, "Contrast Enhancement using Recursive Mean-Separate Histogram Equalization for Scalable Brightness Preservation," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 49, issue 4, pp.1301-1309, 2003.
- [5] T. Arici, S.Dikbas, Y. Altunbasak, "A Histogram Modification Framework and Its Application for Image Contrast Enhancement," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 18, issue 9, pp.1921-1935, 2009.
- [6] H. Park, J. Ryu, "Architecture of Combined AWB/AE Optical Detection Modules for CMOS Image Sensor," *Journal of KIIT*, vol.7, no.5, pp.43-48, 2009.
- [7] J. Kim, H. Park, "Hardware Architecture of Histogram Equalization Algorithm for Visual Quality Enhancement," *SoC Conference of IEK*, pp.444-447, 2009.
- [8] K. Kim, J. Ha, B. Kang, "Auto exposure algorithm and hardware implementation for application of mobile

phone camera," *Journal of KOSBE*, vol.13, no.1, pp.29-36, 2008.

- [9] D. Cho, H. Kang, W. Kim, "High-definition video enhancement using color constancy based on scene unit and modified histogram equalization," *Journal of KOSBE*, vol.15, no.3, pp.368-379, 2010.

저자소개



최정환(Jung-Hwan Choi)

2009.2 숭실대학교 정보통신전자공학부(공학사)
2009.3~현재 숭실대학교 전자공학과 석사과정

※ 관심분야 : SoC 설계



박종식(Jong-Sik Park)

2002.2 숭실대학교 정보통신전자공학부 공학사
2007.2 숭실대학교 정보통신학과 공학석사

2007.3~현재 숭실대학교 전자공학과 박사과정
※ 관심분야 : SoC 설계



이성수(Seongsoo Lee)

1991.2 서울대학교 전자공학과 공학사
1993.2 서울대학교 전자공학과 공학석사

1998.3 서울대학교 전기공학부 공학박사
1998.11~2000.3 동경대학교 Research Associate
2000. 4~2002.8 이화여자대학교 정보통신학과 연구교수
2002. 9 ~ 현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수

※ 관심분야 : SoC 설계