

다중 노출 영상을 이용한 영상의 화질 개선 알고리즘의 실시간 하드웨어 설계

이승민¹ · 강봉순^{1*}

Real-Time Hardware Design of Image Quality Enhancement Algorithm using Multiple Exposure Images

Seungmin Lee¹ · Bongsoon Kang^{1*}

¹Department of Electronic Engineering, Dong-A University, Busan, 49315 Korea

요 약

단일 노출 영상, 또는 다중 노출 영상을 사용하여 저조도 영상의 화질 개선 알고리즘이 수많이 연구되고 있다. 저조도 영상은 명암이 낮고, 잡음이 많아 피사체의 정보를 식별하기에 한계가 있다. 본 논문에서는 듀얼카메라로 촬영한 다중 노출 영상 2개를 이용하여 저조도 영상의 화질 개선하는 알고리즘의 하드웨어 설계를 제안한다. 제안하는 하드웨어 구조는 전달함수를 사용하여 프레임 메모리와 라인 메모리를 쓰지 않는 방식으로 실시간 처리로 설계되었다. 그리고 제안하는 하드웨어 설계는 Verilog로 설계했고, Modelsim을 사용하여 검증했다. 마지막으로 Xilinx사의 xc7z045-2ffg900을 목표 보드로 이용하여 FPGA를 구현했을 때 최대 동작 주파수 167.617MHz로 확인하였고, 영상 크기가 1920x1080 일 때, 소요된 총 클럭 사이클은 2,076,601이며 80.7fps로 실시간 처리가 가능하다.

ABSTRACT

A number of algorithms for improving the image quality of low light images have been studied using a single image or multiple exposure images. The low light image is low in contrast and has a large amount of noise, which limits the identification of information of the subject. This paper proposes the hardware design of algorithms that improve the quality of low light image using 2 multiple exposure images taken with a dual camera. The proposed hardware structure is designed in real time processing in a way that does not use frame memory and line memory using transfer function. The proposed hardware design has been designed using Verilog and validated in Modelsim. Finally, when the proposed algorithm is implemented on FPGA using xc7z045-2ffg900 as the target board, the maximum operating frequency is 167.617MHz. When the image size is 1920x1080, the total clock cycle time is 2,076,601 and can be processed in real time at 80.7fps.

키워드 : 혼합, 듀얼카메라, 다중 노출, 메모리, 실시간 처리

Key word : Blending, Dual-Camera, Multiple exposure images, Memory, Real time processing

Received 13 July 2018, Revised 1 August 2018, Accepted 14 August 2018

* Corresponding Author Bong-Soon Kang(E-mail:bongsoon@dau.ac.kr, Tel:+82-51-200-6703)

Department of Electronic Engineering, Dong-A University, Busan, 49315 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2018.22.11.1462>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

모바일 시장의 규모가 세계적으로 커지면서 모바일의 마케팅 전략도 바뀌고 있다. 예전에는 단순히 모바일의 디스플레이 크기, 메모리 용량, 처리 속도 등이 소비자가 모바일을 선택하는 요소였다면, 최근에는 모바일에 탑재되는 카메라의 기능이 소비자의 관심을 끌고 있다. 이와 더불어 카메라의 시장 규모도 커지고 있다. 그래서 카메라의 디지털 센서 기술과 여러 알고리즘 처리에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 그 중에서도 저조도 이미지에 관련된 디지털 센서의 기술과 여러 알고리즘들의 연구가 많이 진행되고 있다[1-4]. 저조도 영상이란 저조도 환경에서 디지털 센서로 빛이 조금만 들어와 피사체의 실세계의 동적 범위를 정확하게 담지 못하기 때문에 낮은 명암과 높은 잡음을 가지는 한계가 있다. 그렇기 때문에 저조도 환경에서도 실세계의 색상들을 포착하기 위한 동적 범위 확장에 대한 연구가 여러 방향으로 진행되고 있다[5-7]. 그 중에서도 단일 영상만 사용할 경우에는 촬영방법이 간소화하다는 장점이 있지만, 획득할 수 있는 동적 범위에 한계가 있다. 그래서 피사체의 실제 색상을 나타내기에는 고품질의 영상을 얻을 수 없다. 그리고 동적범위가 낮은 저조도 단일 영상만을 이용하여 동적 범위 확장을 하기 때문에, 히스토그램 상에서 어두운 부분으로 편중되는 현상도 있다[3]. 또 다른 방법으로는 단일 렌즈로 각각 다른 노출 시간을 갖는 영상들을 획득하여 저조도 화질 개선 방법이 있다[7-8]. 이 방법에는 여러 동적 범위를 갖는 영상들을 획득하여 고품질의 동적범위 확장된 이미지를 얻을 수 있지만 고정된 피사체에서만 그 효과가 있다는 한계점이 있다. 이러한 한계점을 보완하기 위해 듀얼카메라를 이용하여 다중 노출 영상을 획득한다. 듀얼카메라란 독립적인 두 개의 센서와 렌즈가 달려있으며, 동시에 피사체를 찍기 때문에 단일렌즈의 단점을 보완할 수 있다.

본 논문에서는 저조도 영상의 실세계의 동적 범위 확장을 위해 영상 화질 개선 알고리즘의 하드웨어 설계를 제시하며, 본 논문에 사용된 카메라는 일반렌즈 2개인 NOVITEC의 듀얼 카메라 n_Nova20c를 사용했다. 그리고 조리개의 노출 시간이 다른 일반 렌즈 2개를 사용함으로써 저조도 환경에서 동시에 단노출 영상과 장노출 영상을 획득한다. 하드웨어 설계는 프레임 메모리와 라인 메모리를 쓰지 않으면서 하드웨어 크기를 줄이는 목

표로 설계한다.

본 논문의 구성에는 II장에서는 듀얼카메라를 이용한 저조도 영상의 화질 개선 알고리즘에 대해서 설명하고, III장에서는 화질 개선 알고리즘을 구현하기 위한 전체적인 하드웨어 구조와 특징에 대해서 설명한다. 마지막으로 IV장에서는 본 논문의 결론에 대해 서술한다.

II. 본 론

그림 1은 본 논문에서 제안하는 방법의 흐름도이다. 먼저 듀얼 카메라로부터 장노출(Long exposure time image, LET)과 단노출(Short exposure time image, SET) 입력 영상을 받아들이고 각 입력 영상에서 전달 함수(Transfer function)를 만들게 된다. 전달함수는 입력 이미지에 따라 바뀌기 때문에 적응적인 특성을 가진다. 혼합과정(blending)은 각 입력영상의 전달함수를 이용하여 가중치를 적용한 후 혼합한다. 혼합과정을 거친 후 동적범위가 균등하게 분포한 혼합된 영상을 얻을 수 있다. 마지막으로 혼합된 영상을 기존의 동적 범위 확장 알고리즘(Dynamic range extension)[9]을 사용해 화질이 개선된 결과 영상을 얻는다.

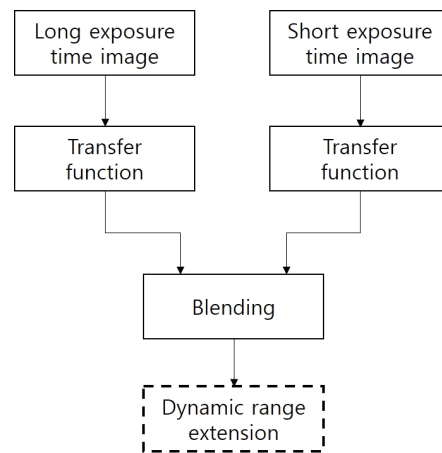


Fig. 1 Flow chart of the proposed algorithm

2.1. 단노출, 장노출 입력

조리개의 노출 시간이 다른 두 입력 영상을 듀얼카메라로부터 얻는다. 그림 2(a)처럼 노출 시간이 긴 영상을 장노출, 그림 2(b)는 노출 시간이 짧은 단노출 영상이라

한다. 그림 2(a)는 파란 박스 내부의 정보가 보이지만 그림 2(b)에서는 명암이 낮아 보이지 않는다. 반면에 그림 2(a)의 붉은 박스 내부의 정보는 포화상태로 보이지 않지만 그림 2(b)에서는 식별이 가능하다.

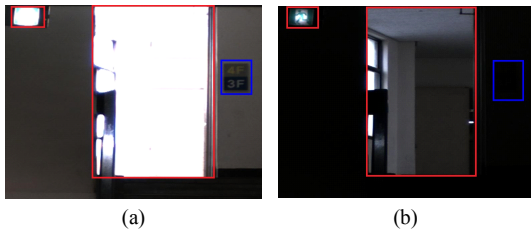


Fig. 2 Input images (a) LET image (b) SET image

영상에 따른 적응적 동작을 위하여 입력 영상의 특징을 나타내는 매개변수를 식 (1)과 식 (2)를 사용하여 추출한다.

$$Th = (Average + Max)/2 \quad (1)$$

$$Tl = (Average + Min)/2 \quad (2)$$

수식 1의 Th 는 Threshold high로 최대 임계값을 뜻하고, $Average$ 와 Max 는 입력 영상의 각 픽셀의 RGB 중 최댓값에 대한 프레임 평균값, 최댓값을 뜻한다. 수식 2의 Tl 는 Threshold low로 최소 임계값을 뜻하고, Min 또한 각 픽셀의 RGB 중 최댓값에 대한 프레임 최솟값이다. 이 식은 각 입력 영상에 적용하여 각 2개의 임계값을 구한다. 임계값은 입력 영상의 정보들로부터 구하기 때문에 고정된 값이 아니라 적응적으로 움직인다.

2.2. 전달함수

전달함수는 각 입력 영상의 2개의 임계값을 이용하여 유도한다. 최소 임계값을 기준으로 왼쪽구간을 어두운 영역, 최소와 최대 임계값 사이를 중간 영역, 그리고 최대 임계값 오른쪽구간을 밝은 영역이라 한다. 3 구간으로 나눈 이유는 각 구간에 맞는 적응적인 가중치를 형성하기 위함이다. 그림 3은 장노출 영상의 전달함수 그래프이다. 장노출 영상에서 밝은 영역은 포화현상이 있어서 가중치를 낮게 가져가고 어두운 영역은 식별할 수 있는 정보들을 많이 담고 있기 때문에 가중치를 높게 가져간다. 반면에 그림 4는 단노출 영상의 전달함수 그래

프이며, 단노출 영상의 어두운 부분은 정보 식별이 어렵고 노이즈를 포함할 확률이 높기 때문에 가중치를 낮추고 밝은 영역은 가중치를 높인다. 이때, 가운데 영역은 밝은 영역과 어두운 영역을 매끄럽게 이어주기 위해 선형그래프를 나타낸다. 그림 3, 4에서 $(x1,y1)$, $(x2,y2)$ 는 각 변곡점의 좌표를 나타내고 L과 S는 장노출과 단노출을 의미한다.

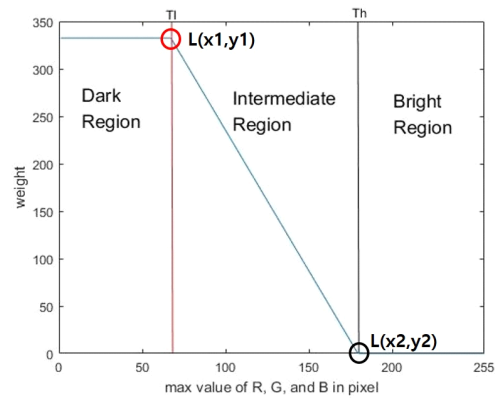


Fig. 3 Transfer function using LET image characteristics

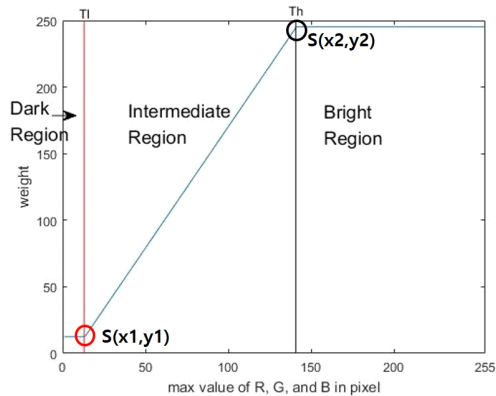


Fig. 4 Transfer function using SET image characteristics

2.3. 혼합

두 입력 장노출 영상과 단노출 영상의 장점만 혼합하기 위해 위의 전달함수를 이용한다. 혼합 시, 픽셀의 RGB 에 각각 전달함수의 가중치를 적용한다. 식 (3)과 (4)는 전달함수를 이용한 단노출 입력 영상에 가중치를 적용하는 식이다.

$$ST_{RGB} = SET_{RGB} + \frac{STF(SI)}{256} \quad (3)$$

$$SW_{RGB} = ST_{RGB} \times \frac{LI}{256} \quad (4)$$

STF 는 단노출 영상의 전달함수를 뜻하고 전달함수의 주소로 쓰이는 SI 와 식 (4)의 LI 는 단노출, 장노출 영상에서 각 픽셀의 RGB 중 최댓값을 뜻한다. SET_{RGB} 는 단노출 영상의 입력 RGB 값을 나타낸다. SW_{RGB} 는 가중치가 적용된 단노출 영상 값이다. 식 (5), (6), 그리고 (7)은 장노출 영상의 가중치를 적용하는 식이며, LTF 는 장노출 영상의 전달함수이다.

$$LT = 255 - \frac{LI + SI}{2} \quad (5)$$

$$LTI = \frac{LTF(LI) + LT}{2} \quad (6)$$

$$LW_{RGB} = LET_{RGB} + \frac{LTI}{256} \quad (7)$$

$$B_{RGB} = SW_{RGB} + LW_{RGB} \quad (8)$$

가중치를 적용하는 과정을 거치게 되면 식 (8)을 통해 혼합 영상을 얻을 수 있다. B_{RGB} 는 혼합된 영상의 RGB 값을 나타낸다. 그림 5, 6, 그리고 7은 장노출, 단노출, 그리고 혼합 영상의 밝기에 대한 히스토그램이다. 장노출 영상은 일반적으로 밝지만, 그림 5의 경우 저조도 환경에서 촬영했기 때문에 히스토그램 중심이 다소 어두운 부분에 있다. 하지만 혼합과정을 거치면서 히스토그램이 골고루 분포하게 되는 것을 그림 7을 보면 확인할 수 있다. 이는 각기 다른 동적 범위를 갖는 다중 노출 영상을 적응적인 전달함수를 이용해 넓은 동적 범위를 갖는 영상을 얻을 수 있기 때문이다.

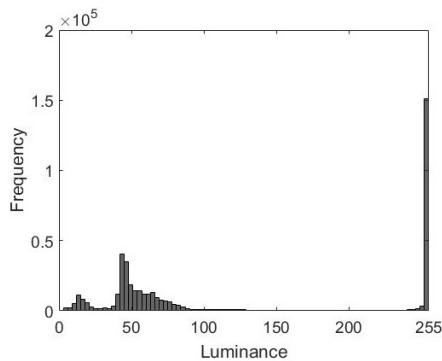


Fig. 5 Histogram of LET image

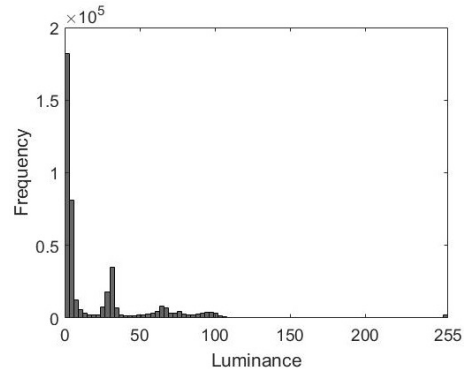


Fig. 6 Histogram of SET image

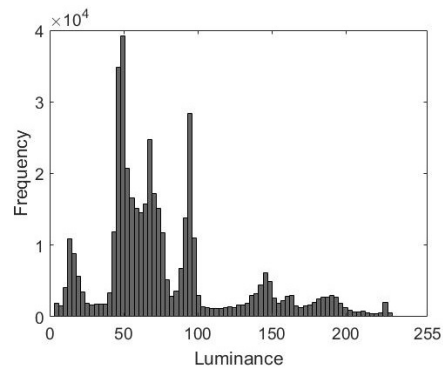


Fig. 7 Histogram of blended image

2.4. 동적 범위 확장

혼합과정을 통해 얻은 혼합 영상으로 각 장노출과 단노출의 정보들을 식별할 수 있으나 그림 7에서 알 수 있듯이 영상의 전체적인 명암이 낮다는 한계가 있다. 그래서 비선형 곡선을 이용하여 밝기와 색상을 개선하는 기존의 동적범위 확장 알고리즘[9]을 사용하여 최종적인 개선된 영상을 얻는다. 그림 8(a)는 혼합영상, (b)는 동적범위 확장 알고리즘을 적용한 최종 결과 영상이다.



Fig. 8 Result images (a) blended image (b) proposed result image

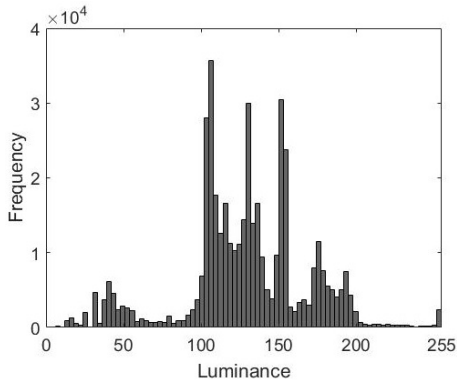


Fig. 9 Histogram of proposed result image

그림 9는 그림 8(b) 영상을 히스토그램으로 나타낸 것이다. 혼합된 영상의 밝기에 대한 평균값은 78.57이며, 화질이 개선된 영상은 128.13이다. 두 영상의 밝기에 대한 평균값을 비교 해볼 때, 히스토그램의 중심축이 밝은 영역으로 옮겨진 것을 알 수 있다.

III. 하드웨어 설계

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 하드웨어 구성도는 그림 10과 같다. 기존의 동적범위 확장 알고리즘[9]은 이미 하드웨어 설계가 되어 있기 때문에, 본 논문에서는 혼합 과정까지 하드웨어 설계를 했다. 주 구성 요소는 장노출의 정보를 뽑아내는 LET, 단노출의 정보를 뽑아내는 SET, 그리고 가중치를 생성하는 Transfer function, 마지막으로 Blending으로 총 4개이다. LET와 SET에 포함되어 있는 Dithering은 영상의 세부 정보를 확장하는 기능이다.

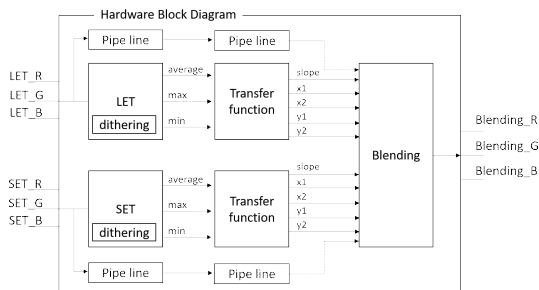


Fig. 10 Hardware block diagram

LET, SET 블록에서는 8비트 입력 RGB 3채널을 받아서 dithering을 통해 10비트로 비트 확장을 해준다. 전달함수 블록은 높은 fps(frame-per-second) 속도를 얻기 위해 VB(Vertical Blank) 때 동작을 하여 다음 프레임에 전달함수를 적용한다. 그리고 하드웨어 부피를 많이 차지하는 LUT(Look-UP-Table)을 쓰지 않고 전달함수 그래프를 형성할 수 있는 매개변수들을 얻는다. 매개변수는 각 입력 영상의 전달함수 출력단에 5개씩 나오며, (x1,y1), (x2,y2)가 전달함수 그래프의 변곡점의 좌표를 뜻하고 slope는 두 변곡점을 이어주는 기울기를 뜻한다. 혼합기 블록에서는 전달함수 블록에서 구했던 매개변수들을 이용하여 픽셀별로 가중치를 적용하여 혼합한다. 최종 출력은 3채널 각각 RGB 12비트이다.

표1은 Xilinx Vivado를 이용하여 목표 보드가 xc7z045-2ffg900인 하드웨어 설계를 FPGA(Field Programmable Gate Array)로 구현했을 때의 정보들이다. 슬라이스 레지스터와 슬라이스 LUT는 각각 1%, 2% 점유율을 가지며, 하드웨어 동작의 최소 주기는 5.966ns, 최대 동작 주파수는 167.617MHz이다.

Table. 1 Summary of Xilinx Synthetic Result

| Device | xc7z045-2ffg900 | | |
|-------------------------|-----------------|-------|-------------|
| Slice Logic Utilization | Available | Used | Utilization |
| Slice Resister | 948,480 | 4,894 | 1% |
| Slice LUT | 474,240 | 4,727 | 2% |
| Minimum period(ns) | 5.966ns | | |
| Maximum Freq(MHz) | 167.617MHz | | |

* The EDA tool was supported by the IC Design Education center(IDEC), Korea.

그리고 높은 fps속도를 내기위해 영상의 HB(Horizontal Blank)는 1clock, VB는 1 line만 사용했다. 영상 사이즈가 1920x1080 일 때, 소요된 총 클럭 사이클은 2,076,601이며, 80.7fps까지 나온다.

IV. 결론

본 논문에서는 듀얼카메라를 이용하여 영상의 화질 개선 알고리즘의 실시간 하드웨어를 제안한다. 알고리즘을 하드웨어로 설계 시, 실시간 처리가 가능하면서도

프레임 메모리를 사용하지 않도록 하였다. 하드웨어 설계는 Xilinx를 이용하여 FPGA로 구현하였다. 최종적으로, 슬라이스 레지스터와 슬라이스 LUT는 각각 1%, 2% 미만으로 사용했으며, 적은 하드웨어 리소스를 이용하여 영상 사이즈가 1920x1080일 때, 80.7fps로 실시간 동작이 가능함을 확인하였다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education. (NRF-2015R1d1A1A01060427)

REFERENCES

- [1] W. R. Lee, D. G. Hwang, and B. M. Jun, "Color Restoration of Low Light Level Images Using a Tone Mapping and Retinex," *Journal of Koreanstudies Information Service System: Software and Applications*, vol. 40, no. 6, pp. 342-349, Jun. 2013.
- [2] W. R. Lee, W. G. Jun, and B. M. Jun, "Performance Evaluation of Color Constancy Methods using Low Light Level synthesized images," in *Proceedings of the Korea Entertainment Industry Association*, pp. 214-217, 2013.
- [3] K. G. Kim, J. W. Chong, "Contrast Enhancement of Image in Low-Light Condition Based on the Ratio of Illumination," in *proceedings of the Institute of Electronics and Information Engineers*, pp. 565-568, 2013.
- [4] G. J. Kim, and B. S. Kang, "Hardware Design of Real-Time Wide Dynamic Range Algorithm Based on Tone Mapping Method for Image Quality Enhancement," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 22, no. 2, pp. 270-275, Feb. 2018.
- [5] T. U. Kang, W. J. Lee, and J. C. Jeong, "HDR Tone Mapping using Separated Histogram Equalization," in *proceedings of the Korean Institute of Broadcast and Media Engineers*, pp. 189-192, 2015.
- [6] D. H. Kim, "SVD-based Image Enhancement Method using Weighted Average of Histogram Stretching and Equalization," *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, vol. 5, no. 5, pp. 77-85, Oct. 2015.
- [7] H. J. Kwon, S. H. Lee, G. Y. Lee, and K. I. Song, "HDR Reproduction Algorithm Using the Radiance Map Considering Weighted Intensities of Multi Exposure Images," *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, vol. 13, no. 10, pp. 137-144, Oct. 2015.
- [8] T. Jinno, and M. Okuda, "Multiple Exposure Fusion for High Dynamic Range Image Acquisition," *The Journal of Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Image Processing*, vol. 21, no. 1, pp. 358-365, Jun. 2011.
- [9] H. S. Cho, G. J. Kim, K. H. Jang, S. M. Lee, and B. S. Kang, "Color Image Enhancement Based on Adaptive Nonlinear Curves of Luminance Feature," *The Journal of Semiconductor Technology and Science*, vol. 15, no. 1, pp. 60-67, Feb. 2015.



이승민(Seungmin Lee)

2016년 동아대학교 전자공학과 공학사
 2016년 동아대학교 전자공학과 공학석사
 2018년 - 현재 동아대학교 전자공학과 박사 과정
 ※관심분야 : 영상신호처리, 머신러닝, SoC설계



강봉순(Bongsoon Kang)

1985년 연세대학교 전자공학과 공학사
 1987년 미국 University of Pennsylvania
 전기공학과 공학석사
 1990년 미국 Drexel University 전기 및 컴퓨터
 공학과 공학박사
 1989년 - 1999년 삼성전자 반도체 수석연구원
 1999년 - 현재 동아대학교 전자공학과 교수
 2006년 - 2011년 멀티미디어 연구센터 소장
 2006년 - 2013년 2단계 BK21 사업팀장
 2013년 - 현재 BK21 Plus 사업팀장
 ※관심분야 : 영상신호처리, SoC설계 및 무선통신