

색상 보정을 위한 CIE1931 색좌표계 변환의 하드웨어 구현

Hardware implementation of CIE1931 color coordinate system transformation for color correction

이 승 민*, 박 상 옥*, 강 봉 순*[★]

Seung-min Lee*, Sangwook Park*, Bong-Soon Kang*[★]

Abstract

With the development of autonomous driving technology, the importance of object recognition technology is increasing. Haze removal is required because the hazy weather reduces visibility and detectability in object recognition. However, the image from which the haze has been removed cannot properly reflect the unique color, and a detection error occurs. In this paper, we use CIE1931 color coordinate system to extend or reduce the color area to provide algorithms and hardware that reflect the colors of the real world. In addition, we will implement hardware capable of real-time processing in a 4K environment as the image media develops. This hardware was written in Verilog and implemented on the SoC verification board.

요 약

자율주행 기술이 발전함에 따라 물체 인식 기술에 대한 중요도가 높아지고 있다. 물체 인식에 있어서 안개가 낀 날씨는 가시성 및 검출 능력을 저하시키기 때문에 안개 제거 연구가 필요하다. 하지만 안개가 제거된 이미지는 고유의 색상을 제대로 반영하지 못해 검출 오류를 발생시킨다. 본 논문에서는 CIE1931 색 좌표계를 사용해 색상 영역을 확장 또는 축소하여 실세계 색상을 반영하는 알고리즘 및 하드웨어를 제안한다. 또한, 영상 매체의 발달에 맞춰 4K 환경에서 실시간 처리가 가능한 하드웨어를 구현한다. 이 하드웨어는 Verilog로 작성되었으며 SoC 보드를 통해 검증하였다.

Key words : Color Gamut, CIE1931, Verilog-HDL, Hardware implementation, Dehaze

1. 서론

자율주행 기술이 발전함과 동시에 특정 물체 인식 기술에 대한 중요성이 높아지고 있다[1-3]. 자율주행에서 물체 인식은 날씨의 영향을 받지 않아야

한다. 특히, 안개는 빛을 반사해 고유의 색상을 반영하지 못하기 때문에 물체를 검출하기 위한 전처리 단계로 안개 제거 알고리즘이 필요하다. 따라서 안개 제거 알고리즘에 대한 연구가 현재까지 진행되고 있다[4-6]. 하지만 안개 제거를 위해 과도한

* Dept. of Electronics Engineering, Dong-A University

★ Corresponding author

E-mail : bongsoon@dau.ac.kr, Tel : +82-51-200-7703

※ Acknowledgment

This paper was supported by research funds from Dong-A University.

Manuscript received Jun. 1, 2020; revised Jun. 17, 2020; accepted Jun. 19, 2020.

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.

안개를 검출할 경우, 안개가 제거된 이미지는 기존의 고유한 색상을 반영하지 못하거나 탈색되는 단점이 존재하였다.

본 논문에서는 안개 제거 알고리즘의 단점을 개선하기 위해 CIE1931 색 좌표계를 사용한다. CIE1931 색 좌표계에 RGB 정보를 나타내기 위해 수학적으로 정의된 수식을 사용하여 RGB 값을 XYZ 값으로 전환한다. 그리고 변환된 XYZ 값들은 CIE1931 색 좌표계의 정해진 색 영역 내에 XYZ 값들을 분포시킨다. 예를 들어, Adobe RGB와 sRGB는 개발자에 의해 정의된 색 영역이다. Adobe RGB 색 영역은 sRGB 색 영역보다 넓은 공간을 사용하기 때문에 다양한 색을 표현할 수 있다.

본 논문에서는 안개가 제거된 이미지의 고유한 색상을 반영하지 못하는 문제점을 개선하기 위해 기존 색 영역에서 다른 색 영역으로 확장 또는 축소가 가능한 하드웨어를 제안한다. 또한, 하드웨어나 소프트웨어가 지원하는 색 영역에 맞춰 사용자가 변경할 수 있도록 다양한 색 영역을 제공한다. 제안한 하드웨어는 영상기술의 발전에 맞춰 4K (3840×2160) 환경에서 실시간 처리가 가능하도록 하드웨어를 구현하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. CIE1931 색 좌표계를 사용한 알고리즘을 간략하게 소개하고, 제안한 알고리즘의 하드웨어 구현을 소개한다. 또한, 하드웨어 검증을 위해 Xilinx 합성 결과를 제시하고 최종적으로 본 논문의 결론을 서술한다.

II. 본론

1. CIE1931 색 좌표계 적용 알고리즘 소개

CIE1931 색 좌표계는 수식 1을 통해서 RGB 정보가 XYZ 정보로 변환된다[7].

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R2X \\ Matrix \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

수식 1에서 사용되는 곱셈은 행렬 곱셈이다. 행렬 곱셈을 위한 필수 조건은 R2X Matrix의 행과 RGB의 열의 요소 개수가 동일해야 한다. 연산 과정은 R2X Matrix의 n번째 행과 RGB의 m번째 열의 요소들을 차례대로 곱한 뒤, 곱해진 값을 모두 더한 값은 XYZ 행렬의 n×m 위치에 해당한다. R2X

Matrix는 3×3 행렬로써 배열 값이 정의되어 있는 색 영역이다.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}' = \begin{bmatrix} Measurement \\ X2R \\ Matrix \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Target \\ R2X \\ Matrix \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Fig. 1. The equation of CIE1931 algorithm.
그림 1. CIE1931 알고리즘의 수식

본 논문에서 사용된 CIE1931 색 좌표계 변환 방법은 그림 1과 같다. 안개 제거 알고리즘의 단점을 개선하기 위해 입력 이미지를 CIE1931 색 좌표계의 기존 색 영역에서 더 넓은 색 영역으로 확장하는 방법을 사용하였다. 사용된 Matrix는 정의된 값을 사용한다. 입력 RGB는 Target R2X 3×3 Matrix와 곱셈 연산을 통해 XYZ 공간으로 변환된다. XYZ 공간은 CIE1931 색 영역이 분포되는 공간이다. 변환된 XYZ 정보는 출력 RGB'의 XYZ 값을 의미한다. 마지막으로 출력 RGB'를 구하기 위해 XYZ와 Measurement X2R 3×3 Matrix를 곱한다. 위 과정은 기존 색 영역 내에서 RGB값만 확장하지 않고 기본보다 더 넓게 정의된 색 영역으로 확장하기 때문에 색상의 포화 현상도 방지할 수 있다. 여기서 입력 RGB의 CIE1931 색 영역은 기존의 Measurement R2X Matrix를 곱하여 XYZ 값으로 나타낼 수 있다.

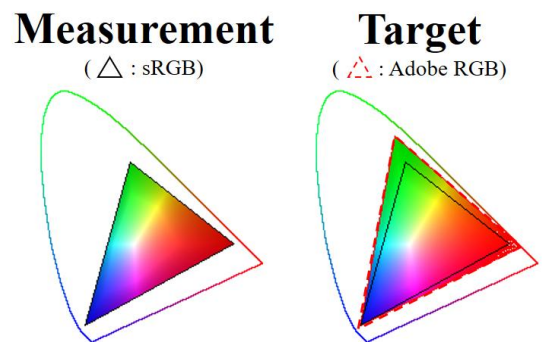


Fig. 2. Color space extended from sRGB to Adobe RGB.
그림 2. sRGB에서 Adobe RGB로 확장된 색 공간

그림 2는 색 공간에서 하나의 픽셀이 24 bits인 RGB의 정보를 혼합하여 1,680만 가지의 색상과 채도, 명도를 모두 표현 가능한 full colors 이미지를 사용하였다. full colors 이미지를 입력 이미지로 넣었을 때, sRGB 색 영역에서 Adobe RGB 색 영역으로 색이 확장되는 것을 확인할 수 있다.

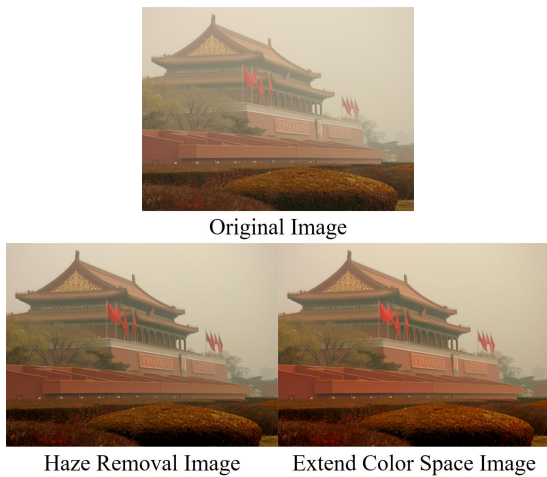


Fig. 3. Haze removal image with extended color space.
그림 3. 색 공간을 확장한 안개 제거 이미지

Measurement 색 영역보다 Target 색 영역에서 더 많은 색 정보를 표현할 수 있으므로 실세계 색상을 반영하는데 효과적이다. 그림 3은 안개를 제거 후 고유 색상을 반영하기 위해 색 영역을 확장한 것을 나타냈다. 색 공간은 Adobe RGB뿐만 아니라 사용자가 사용 용도에 맞춰 확장 또는 축소가 가능하도록 다양한 색 공간을 제공한다. 제공되는 색 공간은 NTSC, sRGB, Adobe RGB, PAL, DCI-P3 등이 있다.

2. 하드웨어 구현

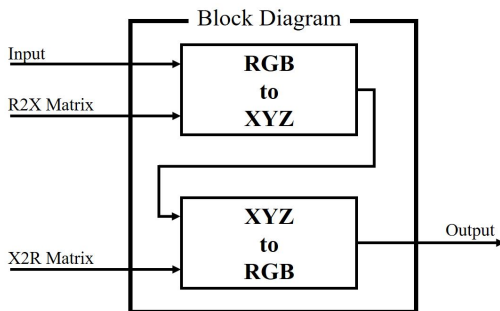


Fig. 4. Block diagram of proposed hardware.
그림 4. 제안하는 하드웨어의 블록도

그림 4는 제안하는 하드웨어의 블록도를 나타냈다. 입력 RGB와 각각 해당되는 R2X Matrix와 X2R Matrix를 입력으로 넣어줄 경우, RGB to XYZ와 XYZ to RGB 연산을 통해 최종 출력 RGB를 얻게 된다. 하드웨어는 RGB to XYZ 모듈과 XYZ to RGB 모듈이 합쳐진 하나의 모듈로 구성되어 있다. 위 그림은 설명을 위해 두 개의 모듈로 분리하여 나타냈다.

RGB to XYZ의 구성은 8 bits의 3×1 입력 RGB와 16 bits의 3×3 R2X Matrix와의 행렬 곱셈을 통해 XYZ 정보를 구한다. 행렬 곱셈은 곱셈 연산과 덧셈 연산을 통해 곱셈을 얻는다. 행렬 곱셈을 위해 입력 RGB와 R2X Matrix의 곱셈은 9개의 곱셈기가 필요하다. 이후 R2X Matrix의 n 행과 RGB 정보를 곱한 뒤, 요소 값을 더하여 최종적으로 XYZ를 구할 수 있다. 하지만 RGB와 R2X Matrix는 10 bits 이상의 bit-size를 사용하며 9번의 곱셈 연산으로 인해 보드에서 제공되는 시간보다 연산 처리 시간이 더 걸리는 critical path를 발생시킨다. 위의 문제점은 split-multiply를 사용하여 critical path를 없애고 속도를 개선할 수 있다[8].

XYZ to RGB의 구성은 19 bits의 XYZ와 16 bits의 X2R Matrix와의 행렬 곱셈 후 소수점 bit를 잘라 15 bits의 출력 RGB로 변환된다. 곱셈 연산은 RGB to XYZ와 동일하게 9개의 곱셈 연산이 필요하며 critical path를 개선하기 위해 split-multiply를 사용하였다. split-multiply를 통해 연산된 값의 소수점 bit를 자르고 덧셈 연산을 통해 출력 RGB 정보를 구할 수 있다. R2X와 달리 X2R의 덧셈은 각각 27 bits의 덧셈으로 28 bits를 출력한다. 20 bits 이상의 bit-size를 사용할 경우, 곱셈뿐만 아니라 덧셈에서도 critical path를 발생시킨다. 위의 문제점을 해결하기 위해 그림 5와 같이 split-add를 사용하였다. A와 B는 bit-size를 상부와 하부로 나눠 덧셈 연산된다. 상부(A1, B1)와 하부(A2, B2)는 각각 덧셈을 통해 C1과 C2값을 갖는다. 하부 연산에서 발생한 overflow값은 C1의 LSB와 더해 C1' 값을 갖는다. C2는 overflow를 제거한 C2'가 생성된다. 마지막으로 출력 C값의 상부는 C1', 하부는 C2'를 사용한다. split-add를 사용하여 critical path를 개선하고 연산 속도를 향상시켰다.

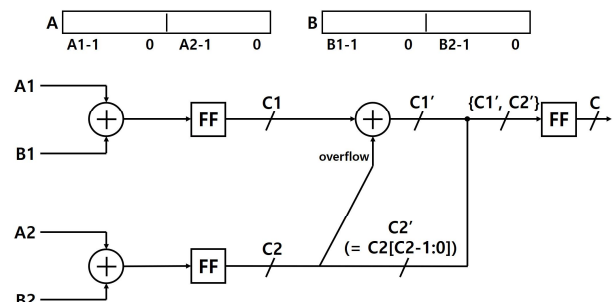


Fig. 5. Computational process of Split-add.
그림 5. Split-add의 연산과정

3. 하드웨어 구현 결과

제안한 하드웨어는 Verilog를 통해 작성되었으며 Xilinx사의 xc7z045-2ffg900 보드를 목표 보드로 FPGA(Field Programmable Gate Array) 환경에서 구현하였다. 하드웨어를 구현할 때, 보드별로 입출력의 총 bit가 정해져 있으며 본 논문에서 사용된 목표보드는 362 bits를 제공한다[9]. 보드에서 제공하는 입출력의 총 bit보다 많은 bit를 사용할 경우, 하드웨어의 구현은 불가능하다. 본 논문에서 제공되는 R2X Matrix와 X2R Matrix는 bit-size가 13 bits로 모두 사용할 경우 목표보드의 총 bit를 초과한다. 하지만 R2X, X2R Matrix는 특정 행렬에서 동일한 MSB(Most Significant Bit)값이 사용된다. 동일한 MSB를 verilog 코드 내에서 상수로 고정하여 12 bits의 parameter를 사용하여 총 362 bit를 초과하지 않도록 설계하였다.

표 1은 Xilinx의 합성 결과이다. Slice Register와 Slice LUTs는 각각 1.01%, 3.23%를 차지하였다. 그리고 하드웨어의 최대 동작 주파수는 315MHz로 4K(3840×2160) 환경에서 37fps로 정상적으로 작동 가능한 것을 확인하였다.

Table 1. Xilinx synthetic result.

표 1. Xilinx 합성 결과

| Device | xc7z045-2ffg900 | | |
|-------------------------|-----------------|-------|-------------|
| | Available | Used | Utilization |
| Slice Logic Utilization | | | |
| Slice Register(#) | 437,200 | 4,425 | 1.01% |
| Slice LUTs(#) | 218,600 | 7,058 | 3.23% |
| Minimum period(ns) | 3.165 | | |
| Maximum Freq.(MHz) | 315.956 | | |

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

III. 결론

본 논문에서는 안개 제거 후 발생하는 문제점을 CIE1931 색 좌표계를 이용하여 개선하는 알고리즘과 하드웨어를 구현하였다. 그리고 하드웨어는 하드웨어의 속도를 향상시키기 위해 split-multiply와 split-add를 적용하였다. 하드웨어는 Verilog 언어를 통해 작성되었고 Xilinx의 xc7z045-2ffg900 보드를 목표로 FPGA 환경에서 구현하였다. Xilinx의 합성 결과는 Slice Register와 Slice LUTs는 각각 1.01%와 3.23%를 점유하였다. 또한, 최대 동작 주

파수는 315MHz로써 4K(3840×2160) 환경에서 실시간 처리가 가능하다.

References

- [1] H. L, S. W. Seo, "Stable and Precise Multi-Lane Detection Algorithm Using Lidar in Challenging Highway Scenario," *The Institute of Electronics and Information Engineers(IEIE)*, vol.52, no.12, pp.158-164, 2015. DOI: 10.5573/ieie.2015.52.12.158
- [2] J. S. Oh, K. I. Lim and J. H. K, "A Research of Obstacle Detection and Path Planning for Lane Change of Autonomous Vehicle in Urban Environment," *Institute of Control, Robotics and Systems*, vol.21, no.2, pp.115-120, 2015. DOI: 10.5302/J.ICROS.2015.14.9006
- [3] D. H. Kim and J. E. Ha, "Multi-Lane Detection using Convolutional Neural Networks and Transfer Learning," *Institute of Control, Robotics and Systems*, vol.23, no.9, pp.718-724, 2017. DOI: 10.5302/J.ICROS.2017.17.0107
- [4] Z. Xu, X. Liu and N. Ji, "Fog Removal from Color Images using Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization," *2009 2nd International Congress on Image and Signal Processing*, pp.1-5, 2009. DOI: 10.1109/CISP.2009.5301485.
- [5] D. Ngo and B. Kang, "Improving Performance of Machine Learning-based Haze Removal Algorithms with Enhanced Training Database," *Institute of Korean Electrical and Electronics Engineers(IKEEE)*, vol.22, no.4, pp.948-952, 2018. DOI: 10.7471/ikeee.2018.22.4.948.
- [6] B. Cai, X. Xu, K. Jia, C. Qing and D. Tao, "DehazeNet: An End-to-End System for Single Image Haze Removal," in *IEEE Transactions on Image Processing*, vol.25, no.11, pp.5187-5198, 2016. DOI: 10.1109/TIP.2016.2598681.
- [7] R. W. G. Hunt and M. R. Pointer, *Measuring Colour 4th ed.*. IS&T Wiley Series on Imaging, 2011.
- [8] D. Ngo, "Hardware implementation of low-light stretch algorithm," Master thesis, Dong-A Univ., 2018.

[9] Xilinx, “DS190 – Zynq-7000 SoC Overview,”
https://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds190-Zynq-7000-Overview.pdf

BIOGRAPHY

Seungmin Lee (Member)



2016 : BS degree in Electronic Engineering, Dong-A University.
 2018 : MS degree in Electronic Engineering, Dong-A University.
 2018~ : Ph.D Candidate in Electronic Engineering, Dong-A University.

Sangwook Park (Member)



2019 : BS degree in Computing Engineering, Dong-A University.
 2019~ : MS degree in Electronic Engineering, Dong-A University.

Bongsoon Kang (Member)



1985 : BS degree in Electronic Engineering, Yonsei University.
 1987 : MS degree in Electrical Engineering, University of Pennsylvania.
 1990 : Ph.D degree in Electrical Engineering, Drexel University.

1989~1999 : Senior Staff Researcher, Samsung Electronics.

1999~ : Prof. of Dept. Electronic Engineering, Dong-A University.