

# 패치 기반 대기강도 추정 알고리즘의 하드웨어 설계

## Hardware Design of Patch-based Airlight Estimation Algorithm

응 오 닷<sup>\*+</sup>, 이 승 민<sup>\*+</sup>, 강 봉 순<sup>\*★</sup>

Dat Ngo<sup>\*+</sup>, Seungmin Lee<sup>\*+</sup>, and Bongsoon Kang<sup>\*★</sup>

### Abstract

Dehaze is essential for autonomous driving and intelligent CCTV to operate normally even in foggy weather. The method of airlight estimation is particularly important in dehaze technology. In this paper, we propose a patch-based airlight estimation algorithm and hardware structure that can reduce the amount of unnecessary computation and effectively estimate the airlight in various input images. Proposed algorithm is compared with the popular quad-tree method, and the hardware design is implemented by using XILINX's xc7z045-ffg900 target board as a structure that can satisfy to international standard 4K video in real time.

### 요 약

안개가 낀 악조건인 날씨에서도 자율주행 및 지능형 CCTV가 정상적으로 동작하기 위해 안개 제거 기술이 필수적이다. 안개 제거 기술에서도 특히 대기강도 추정 방법이 중요하다. 본 논문에서는 불필요한 연산량을 줄이고 여러 가지 입력 영상에서도 효과적으로 대기강도를 추정할 수 있는 패치 기반 대기강도 추정 알고리즘과 하드웨어 구조를 제안한다. 알고리즘은 대중적으로 널리 사용되는 쿼드트리 방식과 비교했으며, 하드웨어 설계는 국제 표준 4K 영상에 실시간 대응할 수 있는 구조로써 XILINX사의 xc7z045-ffg900 목표 보드를 사용하여 FPGA 검증을 했다.

*Key words* : Airlight Estimation, Dehaze, Hardware, Patch, 4K

### 1. 서론

영상처리 기술은 우리가 사용하는 기기 및 실생활에 널리 이용되며, 그 중에서 안개 제거 분야는 4차 산업의 핵심 기술인 자율주행 및 지능형 CCTV 등 컴퓨터 비전에 기반한 기술에 중요한 역할을 담

당한다. 안개 제거 기술은 10년 동안 영상신호처리 분야에서 활발히 연구되어 왔으며[1-2], 최근에는 머신러닝 및 딥러닝 기술을 통한 안개 제거 기술도 활발히 연구되고 있다[3-4]. 이러한 안개 제거 기술에서 특히 대기강도 추정 방법이 중요하다. 대표적인 대기강도 추정 방법으로는 He의 DCP(Dark

\* Dept. of Electronics Engineering, Dong-A University

★ Corresponding author

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

+ These authors contributed equally to this work.

※ Acknowledgment

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

Manuscript received Jun. 1, 2020; revised Jun. 14, 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.

Channel Prior) 방법을 예로 들 수 있다[5]. DCP 방법은 안개가 없는 부분의 픽셀값들은 RGB 3채널 중에서 적어도 한 채널의 명도 값이 매우 낮은 경향을 보이는데 입각한 기술로써, 대기강도 추정 시 입력 영상의 밝기 값 중 상위 0.1%안의 픽셀을 추정한다. 이러한 DCP 방법은 실내 영상에서의 안개 제거는 효과적이지만, 하늘 지역을 포함한 실외 영상에서는 안개 제거 시 어두워지는 단점이 있다. 실내 영상의 경우 안개특성이 일관적이지만, 실외 영상의 경우 자연적인 영향 때문에 여러 가지 안개 특성을 지닌다. DCP 방법에서 0.1%의 상수 값은 실외의 여러 가지 안개 조건을 적응적으로 감지할 수 없기 때문에 안개 제거에 한계가 있다. 다음으로 널리 사용되는 방법으로는 Kim이 제안한 쿼드트리(Quad-Tree)에 기반한 대기 강도 추정 방식이다[6]. 쿼드트리 방법은 입력 영상을 네 개의 블록으로 분할하고, 각 블록의 픽셀의 밝기 평균값을 계산하여 대소비교 후 가장 큰 밝기 평균값의 블록을 선택한다. 선택된 블록을 다시 네 개로 분할하여 미리 설정한 임계값까지 연산을 반복한다. 쿼드트리 방식은 여러 가지 입력 영상에 따라 적응적으로 안개 탐지를 할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 네 개의 분할된 평균값을 저장하기 위해 프레임 메모리를 사용해야하는 점에서 하드웨어 설계로는 적합하지 않고, 카메라로 촬영되는 안개 영상들은 대부분 영상 상단에 안개가 포착된다는 점에서 불필요하게 영상의 하단까지 연산할 경우 연산량이 많아지는 단점이 발생한다.

본 논문에서는 단일 영상 안개 제거를 위한 패치 기반 대기강도 추정 하드웨어용 알고리즘 개발과 국제 표준 4K(4096×2160) 영상에 실시간 대응할 수 있는 하드웨어 설계를 구현하며, 카메라 특성에 따라 안개가 포착되는 영상 상단만 연산하여 대기강도를 추정함으로써 하드웨어 크기를 줄인 구조를 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 패치 기반의 대기 강도 추정 알고리즘에 대해 설명하고, 국제 표준 4K 영상에 대응할 수 있는 하드웨어 구조와 FPGA 구현을 위한 XILINX 합성 결과를 제시한다. 마지막으로 III장에서는 제안하는 방법의 결론에 대해 서술하여 본 논문을 마무리한다.

## II. 본론

대부분의 안개 제거 방법들은 수식 1과 같이 안개 제거 모델링에 기반한다[5].

$$I(x,y) = J(x,y)t(x,y) + A(1-t(x,y)) \quad (1)$$

I는 입력영상, t는 전달량, x와 y는 영상 내의 x축, y축을 나타내고, A는 대기강도, J는 안개가 제거된 결과 영상이다. 본 논문에서는 안개 제거를 위해 A(대기강도)를 추정하는 방법을 제시한다.

### 1. 패치 기반 대기강도 추정 알고리즘

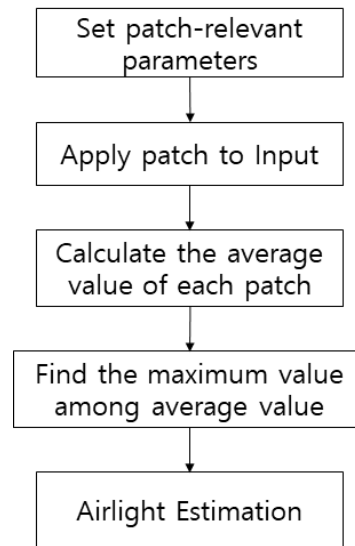


Fig. 1. Block diagram of the proposed method.

그림 1. 제안하는 방법의 블록도

그림 1은 제안하는 방법의 블록도이다. 먼저 입력영상에 패치를 적용하기 전에 패치에 관련된 파라미터들을 설정한다. 패치의 파라미터로는 패치의 가로(p\_width), 세로(p\_height) 길이와 x축, y축의 패치간 거리(x\_jump, y\_jump), 패치의 시작점(x, y) 등이 있다. 패치의 가로는 32, 64, 128, 256 세로는 16, 32, 64, 128로 2의 승수로 구성되며, 입력 영상에 크기에 따라 사용자가 직접 설정할 수 있다. 파라미터가 설정되면 수식2, 3에 따라 패치의 개수가 정해진다. n은 패치의 개수, k는 행의 개수이다.

$$x + p\_width * n + x\_jump * (n - 1) \leq width \quad (2)$$

$$y + p\_height * k + y\_jump * (k - 1) \leq \frac{height}{2} \quad (3)$$

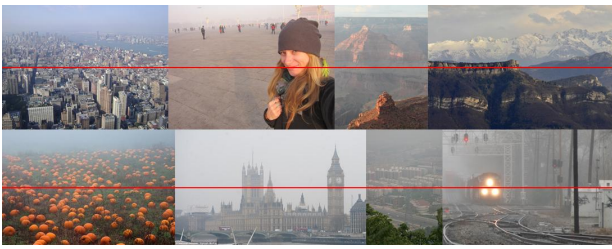


Fig. 2. Haze distribution in outdoor image.  
그림 2. 실외 영상의 안개 분포

width와 height는 입력영상의 가로와 세로 길이이며, 자율주행 및 지능형 CCTV는 실외의 영상들을 포착한다는 점에서 안개가 대부분 영상 상단에 분포하기 때문에 패치는 영상 상단에만 적용하여 불필요한 연산량을 줄였다. 그림 2는 IVC 안개영상 Datasets의 영상이며, 실외에서 안개가 낀 경우에 카메라로 획득한 영상이다[7]. 안개가 영상 상단 부분에 분포한 것을 확인할 수 있다.

입력 영상에 패치가 적용되면, 패치 내 픽셀의 밝기(luminance) 값에 대한 평균값을 구하고, 각 패치 내 평균값들의 대소비교를 통해 평균값의 최댓값을 구한다. 최종적으로 구해진 최댓값을 대기강도 추정값으로 한다.

제안하는 방법은 패치의 크기를 조절하여 국제 표준 4K 영상까지 대기강도를 추정할 수 있을 뿐만 아니라, DCP의 단점인 밝고 흰색의 물체를 대기강도로 추정하는 것을 방지할 수 있다. 또한 쿼드트리 방식의 장점인 입력영상의 특성에 따라 대기강도를 적응적으로 추정할 수 있고, 기존 쿼드트리 방식의 단점인 복잡한 연산량을 줄일 수 있다. 그림 3은 패치의 파라미터(p\_width, p\_height, x\_jump, y\_jump)를 달리하여 대기강도 추정한 결과이다. 파라미터를 다르게 설정해도 동일한 대기강도를 추정하는 것을 확인할 수 있다. 그림 4는 쿼드트리 방식과 제안하는 방법의 대기강도 추정 값이 거의 동일하다는 것을 나타낸다.

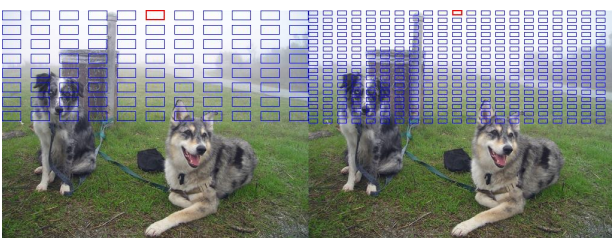
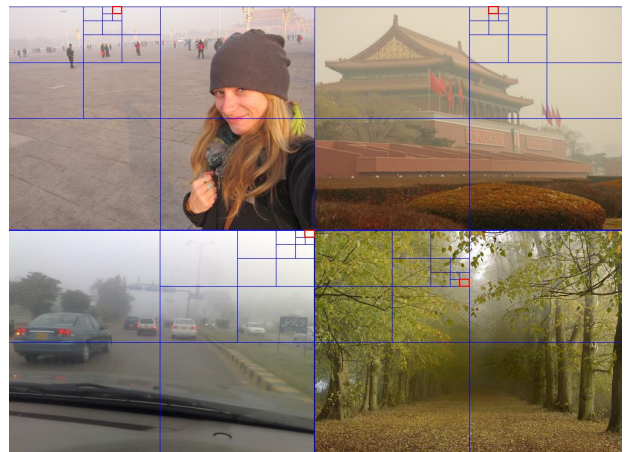


Fig. 3. Airlight estimation results with different parameters.  
그림 3. 파라미터가 다른 대기강도 추정 결과



(a) 기존 쿼드트리 방법의 대기강도 추정



(b) 제안하는 방법의 대기강도 추정

Fig. 4. Comparison of Airlight estimation results.  
그림 4. 대기강도 추정 결과 비교

그림 3, 4에서 파란색의 네모박스가 입력 영상에 적용된 패치이며, 빨간색의 네모박스는 대기 강도 추정 영역을 의미한다.

2. 하드웨어 설계

영상처리 알고리즘의 하드웨어 설계 핵심은 실시간 처리 가능 여부와 하드웨어 크기이다. 제안하는 대기강도 추정 알고리즘의 하드웨어 설계 목표는 다음과 같다. 첫째, 국제 표준 4K 영상에 실시간 대응할 수 있고 둘째, 메모리 및 불필요한 연산을 사용하지 않음으로써 하드웨어 구조를 줄이는 것이다.

그림 5는 제안하는 방법의 하드웨어 구조를 나타낸 것이다. Worst case인 4K 영상 기준으로 패치의 최소 가로 길이가 32이고, 패치간 x축 간격이 0일 때 최대 128개의 F/F(Flip-Flop)이 필요하기 때문에 패치의 개수는 최대 128개로 설계했다.

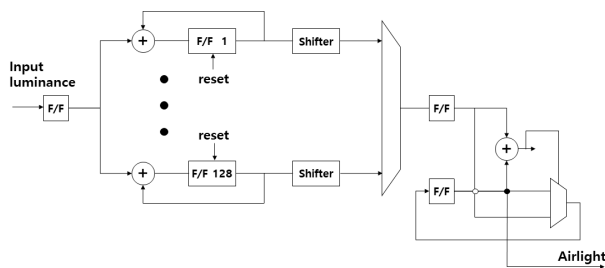


Fig. 5. Hardware architecture of proposed method.

그림 5. 제안하는 방법의 하드웨어 구조

F/F 1~128은 패치 내 밝기 값을 누적하여 저장한다. 또한 패치 내 밝기 평균값을 구하기 위해서 패치의 크기는 2의 승수로 설정하여 하드웨어가 복잡한 Divider 대신에 Shifter로 평균 값 연산을 수행하였다. 그리고 하드웨어에서 픽셀 처리는 hav(horizontal active video), vav(vertical active video)에 따라 입력 영상의 왼쪽 상단에서 오른쪽으로 이동하고, 한 줄에서 수행이 끝나면, 다음 줄로 이동한다. 이러한 특성을 이용하여 패치 단위의 한 행에 대한 밝기 평균값이 계산되면, 패치는 reset신호에 의해 초기화가 되며 다음 행의 패치 연산에 다시 사용된다. 이러한 패치 재사용으로 F/F은 128개만 사용하여 입력 영상의 상단 부분의 모든 패치의 밝기 평균값을 계산함으로써 하드웨어 자원 소요를 줄일 수 있다. 최종적으로 패치 내 밝기 평균값을 구하면 대소비교를 통해 평균값의 최댓값을 추출함으로써 최종적인 대기강도(Airlight)를 추정한다.

제안하는 하드웨어는 Verilog 언어로 설계했고, Modelsim과 MATLAB의 Fixed-point 설계를 통해 검증하였다. 또한 FPGA(Field Programmable Gate Array) 구현을 위해 XILINX사의 xc7z045-ffg900 목표 보드를 사용했다. 표 1은 FPGA 합성 결과로써, 슬라이스 레지스터와 슬라이스 LUT는 각각 0.9%, 5.1%를 사용함으로써 낮은 하드웨어 자원 소요를

Table 1. XILINX Synthetic Result.

표 1. XILINX 합성 결과

Device	xc7z045-ffg900		
	Available	Used	Utilization
Slice Resister(#)	437,200	4,225	0.9%
Slice LUT(#)	218,600	11,225	5.1%
Minimum period(ns)	3.968ns		
Maximum Freq(MHz)	252.016MHz		

\* EDA tools were supported by the IC Design Education Center (IDEC), Korea.

보여준다. 또한 horizontal blank 및 vertical blank는 각각 1 clock 소요하고 최대 동작 주파수는 252.016MHz이다. 최종적으로 국제 표준 4K(4096×2160) 영상에서 28.4fps(frame per second)을 달성하여 실시간 처리 기준인 25fps 이상을 만족한다.

### III. 결론

본 논문에서는 안개 제거를 위한 패치 기반 대기강도 추정 알고리즘과 국제 표준 4K 영상에 실시간 대응할 수 있는 하드웨어를 구현했다. 알고리즘에서는 입력 영상 특성에 따라 적응적으로 대기강도를 추정할 수 있을 뿐만 아니라 입력 영상 상단 부분만 연산함으로써 불필요한 연산량을 줄였다. 또한 하드웨어 설계는 프레임메모리를 사용하지 않고 Divider 대신에 Shifter를 사용함으로써 하드웨어 자원 소요를 줄였으며, 4K 영상에서 28.4fps 속도를 달성하여 실시간 처리가 가능하다.

### References

- [1] Y. K. Wang and C. T. Fan, "Single Image Defogging by Multiscale Depth Fusion," *IEEE Trans. Image Process.*, vol.23, no.11, pp.4826-4837, 2014. DOI: 10.1109/TIP.2014.2358076
- [2] D. Ngo, G. D. Lee, and B. S. Kang, "Improved color attenuation prior for single-image haze removal," *Appl. Sci.*, vol.9, no.19, 4011, 2019. DOI: 10.3390/app9194011
- [3] Q. Zhu, J. Mai, and L. Shao, "A Fast Single Image Haze Removal Algorithm Using Color Attenuation Prior," *IEEE Trans. Image Process.*, vol.24, no.11, pp.3522-3533, 2015. DOI: 10.1109/TIP.2015.2446191
- [4] B. Cai, X. Xu, K. Jia, C. Qing, D. Tao, "Dehaze-Net: An End-to-End System for Single Image Haze Removal," *IEEE Trans. Image Process.*, vol.25, no.11, pp.5187-5198, 2016.
- [5] K. He, J. Sun, and X. Tang, "Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol.33, no.12, pp.2341-2353, 2011.

DOI: 10.1109/TPAMI.2010.168

[6] J. H. Kim, J. Y. Sim, and C. S. Kim, "Single image dehazing based on contrast enhancement," in *Proc. of the 2011 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp.1273-1276, 2011.

DOI: 10.1109/ICASSP.2011.5946643

[7] K. Ma, W. Liu, and Z. Wang, "Perceptual evaluation of single image dehazing algorithms," in *Proc. of the 2015 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pp.3600-3604, 2015.

DOI: 10.1109/ICIP.2015.7351475

## BIOGRAPHY

### Dat Ngo (Member)



2016 : BS degree in Computing Engineering, Danang University of Science and Technology.

2018 : MS degree in Electronic Engineering, Dong-A University.

2018~ : Ph.D Candidate in Electronic Engineering, Dong-A University.

### 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.

### 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.