

누적 히스토그램에 기반한 단일 영상의 안개 제거를 위한 하드웨어 설계

Hardware design for haze removal of single image using cumulative histogram

이 승 민*, 강 봉 순*

Seungmin Lee*, Bongsoon Kang*

Abstract

Recently, autonomous driving technology based on object recognition and lane recognition has attracted attention. However, in foggy weather, haze removal technology is needed because it is difficult to recognize surrounding objects. The technology of removing hazy is currently being studied in many ways, and a single image based haze removal algorithms are typical. In this paper, we design the hardware for haze removal by estimating the hazy partical map. Proposed hardware architecture is designed to have a cumulative histogram based filter that does not affect the hardware size even if the window size of filter increases. The hardware design is implemented with XILINX's xc7z045-ffg900 as the target board.

요 약

최근 사물인식, 차선인식을 기반한 자율 주행 기술이 각광받고 있다. 하지만 안개가 자욱한 날씨에는 주변 사물을 인지하기 어렵기 때문에 안개제거 기술이 필요하다. 안개 제거 기술은 현재 여러 방향으로 연구되고 있으며, 단일 영상을 기반한 안개제거 알고리즘이 대표적이다. 본 논문에서는 안개 입자 맵을 추정하여 실시간으로 안개 제거를 하기 위한 하드웨어를 설계한다. 제안하는 하드웨어 구조는 누적 히스토그램 방식을 기반한 필터를 구현하여 필터의 window 크기가 커져도 하드웨어 크기에 영향을 미치지 않는 구조를 가진다. 하드웨어 설계는 XILINX사의 xc7z045-ffg900을 목표 보드로 하여 FPGA 구현을 했다.

Key words : haze removal, hardware implementation, cumulative histogram, single image, FPGA

1. 서론

자율주행 기술이 최근 출시되는 자동차에 적용되어 나온다. 자율 주행 기술은 인간의 눈을 대신하

여 차 주위의 차선 인식, 사물 인식 등 주변 물체를 인지하여 자율주행에 있어서 상황판단을 내린다. 이때 안개, 미세먼지 등 날씨가 악조건일 경우, 주변 물체를 인지하기 어렵기 때문에 안개 제거 기술

* 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 Sep. 5, 2019; revised Sep. 25, 2019; accepted Sep. 26, 2019.

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.

을 이용한다. 안개란, 대기 중의 수증기가 응결하여 작은 물방울 형태로 지표에 떠 있는 현상을 일컫는다. 안개는 대기 중의 빛의 산란을 유발하여 가지 거리를 줄일 뿐만 아니라, 주변 사물의 색상과 명암 정보도 왜곡되게 만든다. 이러한 왜곡을 줄이기 위해 안개 제거 기술이 필요하며, 단일 영상을 이용한 여러 가지 안개 제거 방법이 연구되고 있다 [1]–[3]. 그 중에서도 첫 번째로 He는 DCP(Dark Channel Prior) 안개 제거 알고리즘을 제안했다[4]. DCP 기반의 알고리즘은 안개가 없는 지역의 픽셀 값들은 대부분 RGB 3채널 중에서 적어도 한 채널은 명도 값이 매우 낮은 경향을 가진다는 이론을 바탕으로 하며, 이를 dark channel 이라 명명했다. DCP 알고리즘은 안개 제거를 위한 안개 전달량을 효과적으로 추정할 수 있지만, 연산 복잡도가 크고 흰색의 사물이 안개로 오인식 되어 결과 영상의 색상 왜곡 현상이 일어난다. 두 번째로 Zhu가 CAP (Color Attenuation Prior) 알고리즘을 주장했다[5]. CAP는 안개 영상에서 깊이에 따른 채도와 명도의 상관관계를 증명하여, 깊이 맵을 구하기 위한 선형 모델을 제시했다. 하지만 이 방법은 안개제거 시, 검은색 부분에서 색상 왜곡이 나타나는 단점이 있다. 마지막으로 Kim은 mHMF(modified Hybrid Median Filter)를 제시하여 안개 제거 시 필요한 안개 입자 맵을 구한다 [6]. 이 방법은 하드웨어 설계 시 DCP, CAP 방법보다 하드웨어 구조를 줄일 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서는 안개 입자 맵을 이용한 안개 제거 알고리즘을 실시간 하드웨어 설계로 구현하며, 필터의 윈도우(Window) 크기가 커져도 하드웨어 크기에 영향을 미치지 않는 누적 히스토그램[7]을 기반한 mHMF 하드웨어 구조를 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 안개 입자 맵을 이용한 안개 제거 알고리즘을 간략히 설명하고, 누적 히스토그램에 기반한 mHMF 하드웨어 구조와 안개 제거 알고리즘의 하드웨어 설계를 검증하기 위한 XILINX 합성 결과를 제시한다. 마지막으로 III장에서는 본 논문의 결론에 대해 서술한다.

II. 본론

1. 안개 입자 맵을 이용한 안개 제거 알고리즘

대부분의 단일 영상을 이용하여 안개를 제거하는

모델링은 수식 1과 같이 정의된다[4].

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

이 식에서, x 와 y 는 안개 영상내의 x 축, y 축을 나타내며, I 는 입력된 안개 영상, t 는 안개 전달량, A 는 입력 영상의 대기 강도, 마지막으로 J 는 안개가 제거된 결과 영상이다. 즉, 입력 영상 I 를 이용하여 안개 전달량 t 와 대기 강도 A 를 추정하여 안개가 제거된 영상 J 를 구한다.

그림 1은 본 논문에서 제안하는 안개 제거 방법의 블록도이며, 화이트 밸런스(White balance), 안개 입자 추정, 그리고 영상 복원으로 세 단계로 구성된다.



Fig. 1. Block diagram of the proposed method.

그림 1. 제안하는 방법의 블록도

첫 번째로 입력 영상 I 는 이상적인 환경에서 화이트 밸런스 과정을 거치면서 영상내의 안개를 정확하게 흰색으로 나타낸다. 화이트 밸런스 과정은 수식 2와 같으며, 수식 2의 $mhmf(\cdot)$ 는 mHMF로서 필터링 처리를 뜻한다. mHMF는 기존의 HMF(Hybrid Median Filter)보다 영상 내 경계선의(edge) 고주파 성분을 잘 보존하는 특성을 가지며, \hat{I} 는 화이트 밸런스 된 영상이다. 두 번째로 안개 영상의 안개 분포를 나타내는 안개 입자 맵은 수식 3으로 표현되며, 안개 분포는 깊이 맵과 관련이 있기 때문에 영상 내 물체의 모서리나 선에 따라 안개 분포가 급격히 차이가 날 수 있다. 이 부분을 보완하기 위해 수식 4처럼 mHMF를 이용하여 안개 입자 맵을 추정한다. 그리고 대기 강도 A 는 입력 영상에 따라 적응적으로 변할 수 있도록 입력 영상의 각 픽셀의 RGB 중 최댓값에 대한 프레임 최댓값이다. 최종적으로 수식 5처럼 입력 영상으로부터 구한 화이트 밸런스 된 값과 추정된 안개 입자 맵, 그리고 대기 강도를 통해서 안개가 제거된 영상을 구할 수 있다.

$$\hat{I} = mhmf(I(x,y)) \quad (2)$$

$$H(x,y) = A(1-t(x,y)) \quad (3)$$

$$\hat{H}(x,y) = mhmf(\min_{RGB}(\hat{I}(x,y))) \quad (4)$$

$$J(x,y) = \frac{\hat{I}(x,y) - \hat{H}(x,y)}{A(1 - \hat{H}(x,y))} \quad (5)$$

2. 하드웨어 구현

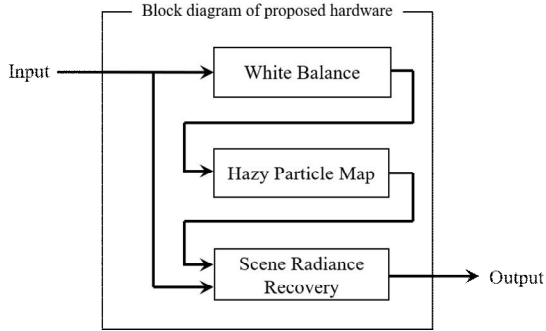


Fig. 2. Block diagram of proposed hardware.
그림 2. 제안하는 방법의 하드웨어 블록도

그림 2는 제안하는 방법의 하드웨어 블록도이다. 하드웨어는 7×7 mHMF를 이용한 화이트 밸런스와 안개 입자 맵, 최종적으로 안개가 제거된 영상으로 복원하는 영상 복원으로 구성된다. 화이트 밸런스와 안개 입자 맵에서 사용하는 mHMF는 윈도우의 전체 영역, 대각선 영역, 십자가 영역으로 중간 값을 찾는다. 그리고 각 3개의 영역에서의 중간 값을 비교하여 다시 중간 값을 추출하면서 mHMF의 최종 값을 출력한다. 기존의 HMF와의 차이점은 윈도우의 센터(center) 값 대신에 윈도우 전체 영역의 중간 값을 사용한다는 점이다[6]. 그리고 이미지 필터링 처리를 할 때 필터의 윈도우 크기가 클 경우 하드웨어의 크기가 N^2 으로 커지기 때문에 하드웨어 구현이 현실적으로 어렵다(N 은 윈도우의 크기). 본 논문에서 제안하는 하드웨어 설계 방법은 mHMF의 중간 값을 찾기 위해 누적 히스토그램 방법을 적용하였다. 누적 히스토그램 기반의 필터링 처리는 윈도우 크기가 커져도 하드웨어 크기에 영향을 미치지 않는 장점이 있다[7]. 그림 3은 누적 히스토그램에 기반한 미디언(Median) 필터의 하드웨어 구조이다.

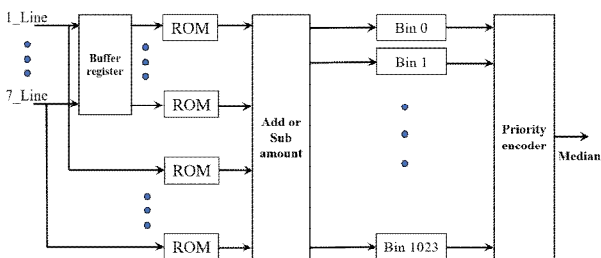


Fig. 3. Hardware architecture of Median filter based on cumulative histogram.
그림 3. 누적 히스토그램에 기반한 미디언 필터 하드웨어 구조

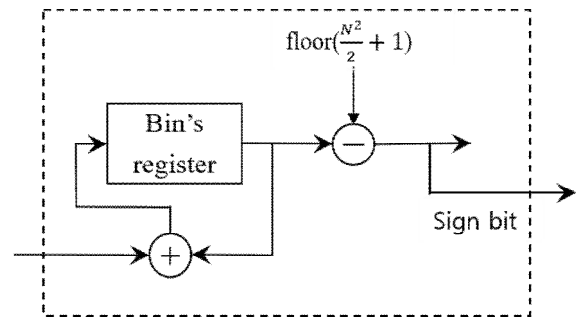


Fig. 4. Bin's circuit.
그림 4. bin의 회로

7×7 mHMF를 구현하기 위해서는 3개의 7×7 미디언 필터가 필요하며, 3개의 미디언 필터는 그림 3의 cumulative histogram 방식을 기반한다. 3개의 미디언 필터는 공통적으로 7개의 라인 메모리를 사용하고, ROM은 14개가 사용된다. 버퍼 레지스터를 통과한 7개의 ROM은 윈도우가 슬라이드 (slide) 하면서 새롭게 받아들이는 픽셀 값들을 저장하고, 나머지 7개의 ROM은 윈도우로부터 빠져나가는 값들을 저장한다. ROM의 저장된 값을 이용하여 윈도우 내부의 픽셀 값들의 빈도를 계산하고, 일치하는 bin 값에 저장한다. bin의 회로는 그림 4와 같고, 윈도우가 슬라이드하면서 윈도우 내부의 픽셀 값의 개수를 카운트하여 일치하는 bin을 누적 히스토그램 한다. 그리고 최종적으로 우선 순위 인코더(Priority encoder) 통해 중간 값을 계산한다. 그림 5는 mHMF의 결과가 누적 히스토그램을 기반한 3개의 윈도우(윈도우 전체, 대각선, 십자가)를 이용하여 계산되는 것을 보여준다.

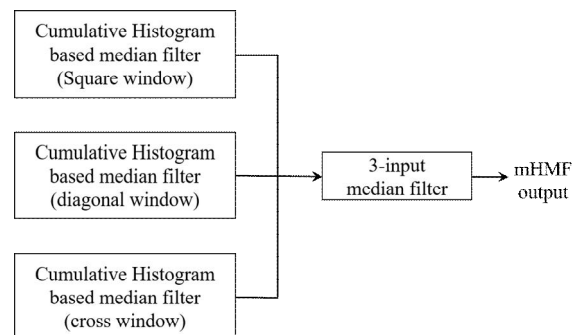


Fig. 5. Hardware architecture of modified hybrid median filter(mHMF) based on cumulative histogram.
그림 5. 누적 히스토그램에 기반한 mHMF의 하드웨어 구조

마지막 모듈인 영상 복원 단계에서는 앞에서 구한 안개 입자 맵과 입력 영상의 픽셀 값들을 이용

하여 연산과정을 거치게 되고 최종적으로 안개가 제거된 영상 정보를 구한다.

본 논문에서 제안한 하드웨어 설계는 verilog 언어로 작성했고, modelsim을 통해 검증하였다. 그리고 XILINX사의 xc7z045-ffg900 목표 보드를 이용하여 FPGA(Field Programmable Gate Array)로 구현을 했다. 표 1은 목표 보드에 대한 합성 결과이다. 슬라이스 레지스터와 슬라이스 LUT는 각각 18%, 31% 점유율을 가지며, 하드웨어 동작의 최소 주기는 4.5ns, 최대 동작 주파수는 221.2MHz이다.

Table 1. XILINX Synthetic Result.

표 1. XILINX 합성 결과

Device	xc7z045-ffg900		
	Available	Used	Utilization
Slice Logic Utilization			
Slice Resister(#)	437,200	79,354	18.1%
Slice LUT(#)	218,600	67,353	30.8%
Minimum period(ns)	4.5		
Maximum Freq(MHz)	221.2		

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

III. 결론

본 논문에서는 안개 입자 맵을 이용한 안개 제거 알고리즘을 하드웨어로 구현을 했다. 제안하는 하드웨어 구조는 필터 설계 시 누적 히스토그램 방식을 적용함으로써 윈도우 크기가 커져도 하드웨어 크기에 영향을 주지 않고, 실시간 구현이 가능하다는 장점이 있다. 하드웨어 설계는 Xilinx를 이용하여 FPGA 검증을 했고, 슬라이스 레지스터와 슬라이스 LUT는 각각 18%, 31%를 사용했다.

References

- [1] J. P. Tarel, N. Hautiere. L. Caraffa, A. Cored. H. Halmaoui, and D. Gruyer, "Vision enhancement in homogeneous and heterogeneous fog," *IEEE Intell. Transp. Syst. Mag.*, vol.4, no.2, pp.6-20, 2012. DOI: 10.1109/MITS.2012.2189969
- [2] K. Nishino, L. Kratz, and S. Lomvardi, "Bayesian Defogging," *Int. J. Comput. Vis.*, voi.98, no.3, pp. 263-278, 2012. DOI: 10.1007/s11263-011-0508-1

[3] T. M. Bui and W. Kim "Single Image Dehazing Using Color Ellipsoid Prior," *IEEE Trans. Image Process*, vol.27, no.2, pp.999-1009, 2017.

DOI: 10.1109/TIP.2017.2771158

[4] 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.1956-1963, 2011. DOI: 10.1109/TPAMI.2010.168

[5] 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

[6] G. Kim, S. Lee, and B. Kang, "Single Image Haze Removal Using Hazy Particle Maps," *IEICE Trans. Fundam. Electron. Commun. Comput. Sci.*, vol.101, no.11, pp.1999-2002, 2018.

DOI: 10.1587/transfun.E101.A.1999

[7] S. Fahmy, P. Cheung, and W. Luk, "Novel FPGA-based implementation of median and weighted median filters for image processing," *FPL*. pp. 142-147, 2005. DOI: 10.1109/FPL.2005.1515713

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.

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.