



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

심도정보의 Entropy를 이용한 개선된
DCP 안개 제거 방법

Improved DCP Haze Removal Method Using
Entropy of Depth Information



지도교수 하 윤 수

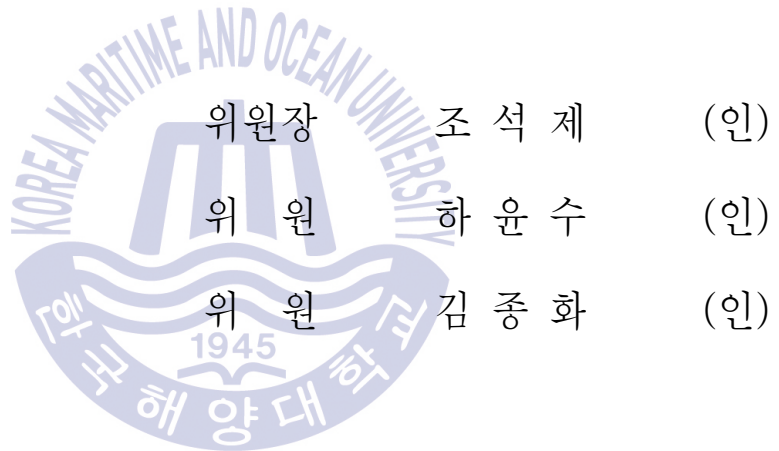
2017년 8월

한국해양대학교 대학원

제어계측공학과

이 누리

본 논문을 이누리의 공학석사 학위논문으로 인준함.



2017년 7월 14일

한국해양대학교 대학원

목 차

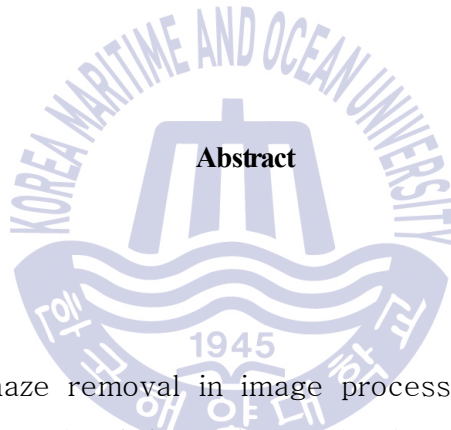
Abstract

제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 논문의 구성	3
제 2 장 DCP를 기반으로 한 안개제거	4
2.1 안개 모델링	4
2.2 DCP 기반의 단일영상 안개 제거 방법	6
2.3 기존 DCP 안개제거 알고리즘의 문제점	12
제 3 장 제안하는 안개제거 방법	16
3.1 엔트로피를 이용한 심도가 반영된 경계선 정보 추출	18
3.2 적응적인 윈도우를 적용한 전달량 추정에 의한 안개제거	23
제 4 장 실험 및 고찰	29
제 5 장 결 론	37
참고 문헌	

Improved DCP Haze Removal Method Using Entropy of Depth Information

Nu-ri Lee

*Department of Control and Instrumentation Engineering,
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University*



Abstract

It is important to haze removal in image processing because it makes it difficult to analyze color information and edge information in marine and aeronautical fields, which are sensitive to meteorological conditions. The DCP(Dark Channel Prior), which estimates the haze using the minimum values of R, G, B information, is the most widely used algorithm to remove haze from the current image information. The DCP algorithm is a method for estimating the amount of haze by using the minimum value of R, G, B information on a local area selected stepwise from a given fog image, and estimating the transmission map to remove the haze. At this time, the haze is estimated from the edge of the boundary to the local area, so that the block artifact inevitably occurs.

Therefore, the image analysis performance is not high near the edge.

This paper proposes a haze removal method using an improved transmission map to reduce the block artifact occurred during DCP process which is a representative algorithm for haze removal. The proposed method estimates depth information and edge information in a dark channel using entropy, which are stochastic properties, and predicts the part where block artifact occurs. Using the adaptive window according to the entropy value in the predicted part, new transmission map is obtained, which can reduce the block artifact in the edge of the boundary containing the depth information.

In the conclusion, we can obtain improved fog removal image than transmission map the existing DCP algorithm by using the new transmission map.



제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

근래에 들어 항공 및 선박, 지능형 무인 시스템 구축과 해상 감시에 영상처리 및 컴퓨터 시각 기술이 적용되고 있다[1]. 기상환경이 중요한 해양 및 항공 분야의 영상에서 안개나 연무 등이 영상의 해석을 어렵게 한다. 안개가 있는 영상에서 안개를 제거하는 문제는 매우 중요하다. 영상의 품질 향상을 위해 최근 효과적으로 안개를 제거하는 방법들이 연구 되고 있다[2]-[11].

안개 제거방법은 안개 모델링(haze modeling)의 사용 여부에 따라 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 대비 향상 기법(Contrast-enhancement method)으로 안개를 제거하는 대표적 방법으로 MSR(Multi-Scale Retinex) [2]와 CLAHE(Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization)[3]이 있다. 이 방법들은 안개 모델링 과정 없이 영상을 여러 영역으로 나눈 후 대비 확장 처리를 이용하여 각 영역의 대비분포에 맞게 안개영상을 개선하여 잘 보이게 한다[2],[3]. 이 방법들은 상대적으로 간단한 방법으로 안개 영상의 가시성을 증가시키는 장점이 있으나 여러 영역으로 나눈 후 대비 분포에 따라 처리되기 때문에 결과 영상에서 영역 간의 색상 왜곡이 발생하기 쉽다[4].

두 번째는 안개를 모델링하여 영상에서 안개부분을 제거하는 방법이다. 이 방법은 안개와 관련된 파라미터들을 계산하고 장면의 심도(depth)를 나타내는 전달량을 추정하는 과정이다. 안개가 포함된 단일영상에 안개 모델링을 거친 안개 제거 기법에 대한 연구가 활발히 진행되면서 다양한 방법의 안개 제거 방법이 제안되었다. Tan[5]은 안개 낀 영상의 대조비가 맑은 날에 촬영된 영상의 국부영역에서 일반적으로 어두운 픽셀을 가지고 있다는 통계적 특성을 바탕으로 안개 영상의 대조비를 이용하여 지역적으로 안개영역을 찾아내 안개제거를 수행하는 방법이다. Fattal[6]은 안개 낀 영상의 반사율(albedo)와 음영이 관계가 없다는 특성을 이용해서 인접한 화소들의 심도 값이 비슷하다는 가정과 안개가 있는 영역에서 화소들의 밝기 차이의 합이 안개가 없는 영역보다 적다는

가정을 통해 지역적으로 안개 영역을 찾아내 입력 안개 영상에서 반사율을 예측해 안개를 제거하는 방법을 제안하였다.

He[7],[8]등이 제안한 방법은 맑은 날에 촬영된 영상의 국부영역에서 일반적으로 어두운 픽셀을 가지고 있다는 통계적 특성을 바탕으로 안개제거를 수행하는 방법이다. 이 통계적 특성을 이용한 방법을 DCP(Dark Channel Prior)라고 한다. DCP를 이용한 방법은 안개 모델링에서의 dark channel의 흑백을 구분하고 안개값과 전달량을 추정한 후 필터링(filtering)하여 안개 없는 영상을 만들어 내는 방법이다. 이 방법은 다양한 형태의 영상에서 안개 값을 무리 없이 추정해낼 수 있고 효과적으로 안개제거를 할 수 있기 때문에 널리 사용된다. 그러나 전달량을 추정하는 과정에서 안개 제거 결과 영상의 대비 값이 낮게 나타나고, 국부영역으로 처리하기 때문에 물체의 경계 부근에서 뿌옇게 보이는 후광 현상(halo artifact) 및 블록 현상(block artifact)이 발생하여 안개가 제거된 영상의 품질 저하를 초래한다[9]-[11]. 이를 개선하기 위해 soft matting 기법을 적용하여 전달량을 정제 하였지만 추가 계산량을 요구하는 단점이 있다. 그래서 상대적으로 계산량을 줄이고 처리 시간이 개선된 유도필터(guided filter)의 사용을 제안해 전달량을 정제하는 방법을 제안 하였다[8].

Yang[9]등은 DCP 처리 이후 전달량 정제 과정 없이 DCP 안개 제거 영상에 히스토그램 명세화(histogram specification)을 적용한 방법을 제안하였다. 이 방법은 간단한 계산만으로 후광 현상 및 블록현상을 억제시키고 안개 제거 영상의 가시성과 정확성을 향상시키지만 흑백 영역에서 히스토그램을 처리하기 때문에 채도 영역에서 색상의 과포화 및 왜곡이 발생하기 쉽다. Kim[10]등이 제안한 방법은 DCP에서 발생하는 문제점을 개선하기 위해 색정규화를 통해 색이 포화 되는 현상을 줄이고 모폴로지 연산을 통해 오추정된 전달량을 개선하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 안개모델링의 다양한 파라미터를 이용해 색이 과포화 되고 안개값이 잘못 추정되는 문제점을 개선하였지만 DCP 연산 과정에서 화소중심의 국부영역이 아닌 국부영역 중심의 최소값 마스크를 적용하여 dark channel에 안개량이 포함된 심도정보가 부족하다.

Moon[11]등이 제안한 이중 다크 채널 연산을 이용하는 방법은 느린 처리속도와 블록현상 개선을 위해 15x15, 1x1의 윈도우를 적용한 두개의 dark channel을 이용해 별도의 전달량 정제 과정 없이 블록현상을 개선하고 처리속

도를 빠르게 하였지만 1x1이라는 윈도우를 사용하여 불연속적이고 측정이 쉽지 않은 안개의 특성을 반영하지 않고 안개제거를 수행하였다.

본 논문에서는 기존의 dark channel에서 확률 특성인 엔트로피(entropy)를 이용해 새로운 dark channel을 구하고 블록현상이 예측되는 부분에서 윈도우 크기를 변화시켜 블록현상을 개선하였다. Dark channel 영상은 입력 영상의 안개량 뿐만 아니라 안개와 사물을 나눈 심도 정보가 포함된 영상인데 블록현상은 영상전체의 경계가 아닌 심도의 차이가 발생하는 경계 부근에서 나타난다. 따라서 제안한 방법은 dark channel 영상에서 dark channel 값에 대해 엔트로피를 이용해 영상의 심도정보가 포함된 물체의 경계선(edge) 정보를 구한다. 심도의 차이가 나는 부분에 엔트로피를 이용하여 계산하게 되면 블록현상이 발생하는 경계선 부분을 찾을 수 있다. 엔트로피 영상을 통해 블록현상이 발생하는 심도가 포함된 경계선 부분에서만 적응적인 윈도우를 적용하여 새로운 dark channel 영상을 만들어 안개가 제거된 영상의 블록현상을 개선하였다.

1.2 논문의 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 안개를 수치화시킨 안개 모델링과 전달량을 구하고 DCP기반의 안개 제거 방법에 대해 살펴본다. 제 3장에서는 제안하는 방법에 관해 설명하고 결과를 출력한다. 제 4장에서는 여러 경우의 영상에 대하여 제안한 알고리즘과 기존 방법을 적용한 결과를 비교하고 고찰한다.

제 5장에서는 4장에서 비교, 분석한 결과를 바탕으로 전체 내용에 대해 결론을 내린다.

제 2 장 DCP를 기반으로 한 안개제거

2.1 안개 모델링

안개 제거는 안개가 포함된 원 영상에서 안개 영역을 검출하고 안개의 정도를 추정한 후 안개 영역에서 안개를 배제한 영상을 얻는 과정을 말한다. 안개를 포함한 영상 $I(x)$ 는 Koschmieder가 제안한 안개 모델을 이용하여 식(1)과 같이 나타낼 수 있다[12].

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

여기서 $I(x)$ 는 x 위치에서 얻어지는 안개 영상이고 $J(x)$ 은 안개가 없는 영상이다. $t(x)$ 는 카메라에 획득된 정도를 나타내는 전달량이다. 전달량은 빛이 굴절이나 산란되지 않고 카메라 렌즈에 투과되는 양을 말한다. A 는 안개값(fog value)을 의미하며 안개가 영상의 각 화소에 영향을 미친 정도를 뜻한다. 여기서 전달량 $t(x)$ 는 식(2)와 같이 화소의 깊이에 대한 지수감소함수 형태로 표현된다.

$$t(x) = e^{-\beta d(x)} \quad (2)$$

여기서 β 는 산란 계수(scattering coefficient)이고 $d(x)$ 는 x 화소의 심도를 말한다. 멀리 있는 물체일수록 깊이 정보가 크고 안개에 의해 산란되는 량도 커지기 때문에 카메라 렌즈까지 전달되는 정보가 감소한다. 안개값 A 는 그 양이 크면 클수록 거리가 가까울수록 영상에 크게 반영되기 때문에 안개가 더 강하게 영상에 나타난다. 따라서 안개 제거 알고리즘은 안개 모델링 식 (1)에서 획득한 안개 영상 $I(x)$ 에서 안개값 A 와 각 화소에 대한 전달량 $t(x)$ 를 추정하여 $J(x)$ 를 계산하는 과정을 말한다. 식(3)은 채널 c 에 대해 안개 제거 영상 $J(x)$ 를 구하는 식이다.

$$J_c(x) = \frac{I_c(x) - A_c}{t_c(x)} + A_c \text{ when } c \in \{r, g, b\} \quad (3)$$

안개 모델링의 원리는 그림 2.1과 같다. 우측의 실제 장면 $J(x)$ 는 안개가 끼었을 경우 카메라 사이에 탁한 매질이나 안개를 포함하는 대기 안의 성분 때문에 산란되거나 반사되어 온전히 전달되지 못하고 탁한 매질이나 안개가 포함된 상태로 사람의 눈이나 카메라 렌즈에 도달하게 된다. $J(x)t(x)$ 는 물체의 반사된 빛이 직접 카메라 렌즈로 도달하는 직접 감쇄를 의미하고 $A(1-t(x))$ 는 빛이 대기 중의 안개와 같은 탁한 매질에 의해 산란되어 렌즈에 도달하는 산란광 (airlight)을 나타낸다. 그래서 입력 안개 영상 $I(x)$ 은 직접감쇄를 나타내는 $J(x)t(x)$ 와 대기 산란광 $A(1-t(x))$ 의 합으로 이루어진다.

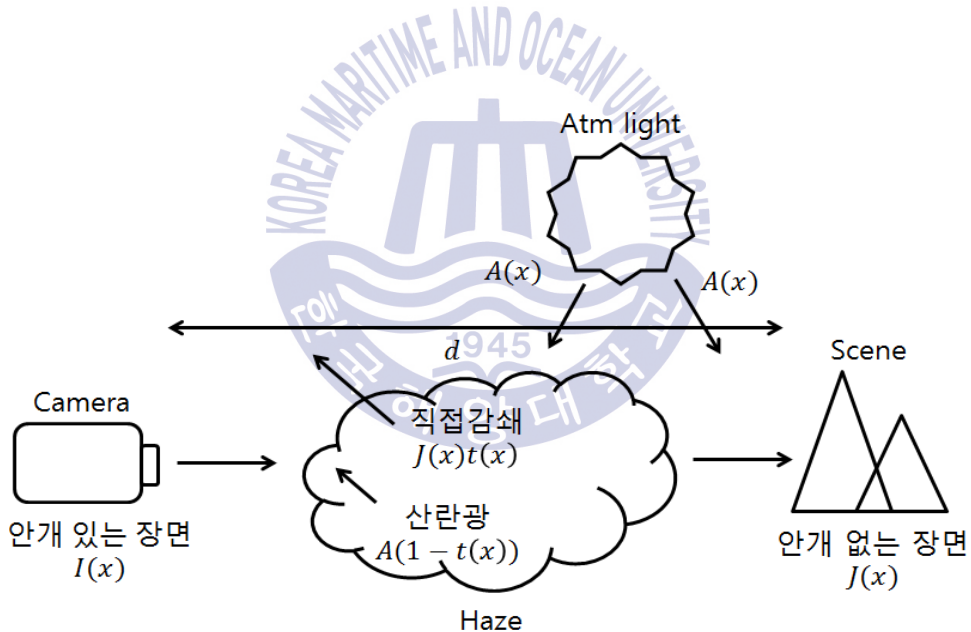


그림 2.1 안개 모델링
Figure 2.1 Fog modelling

2.2 DCP 기반의 단일영상 안개 제거 방법

DCP 방법은 맑은 날에 촬영된 안개가 없는 깨끗한 영상에서 R, G, B 채널 값을 분석해보면 화소는 0에 가까운 값을 갖는 화소가 존재한다는 특성을 이용한다. 임의의 안개 영역 $\Omega(x)$ 에서 안개를 걷어낸 화소 x 의 dark channel J 의 식은 (4)와 같다.

$$J_{dark}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} (\min_{c \in \{r, g, b\}} (J_c(y))) \quad (4)$$

여기에서 $J_{dark}(x)$ 는 x 좌표에서의 J 의 dark channel을 의미하고 $\Omega(x)$ 는 좌표 x 를 중심으로 국부 영역의 픽셀 y 의 집합을 의미한다. $J_c(y)$ 는 안개를 걷어낸 y 에서 해당 채널 값이다. 특히 J 가 안개가 없는 맑은 날의 영상이기 때문에 좌표 x 에 대해서 다음의 식이 성립된다.

$$J_{dark}(x) \approx 0 \quad (5)$$

획득한 안개 영상 $I(x)$ 에서, 임의의 안개 영역 $\Omega(x)$ 의 안개값 A 는 0이 아니므로 식(5)에 의거하여 식(1)에 대입하면, 식(6)과 같은 전달량을 구할 수 있다.

$$t(x) = 1 - \min_{y \in \Omega(x)} (\min_{c \in \{r, g, b\}} (\frac{I_c(y)}{A_c})) \quad (6)$$

일반적으로 안개가 없는 사물 및 건물 영역은 안개 영역에 비해 R, G, B 중 최대값과 최소값의 차이가 대체로 크다. 이 점을 이용하여 안개 영상의 각 화소에서 최소값을 계산한다. 이 때 지정된 크기의 $r \times r$ 윈도우를 이용하여 윈도우 내에 있는 화소들의 R, G, B 성분들 중 최소값을 윈도우가 있는 국부영역의 최소 채널 값으로 정한다.

최소 채널 값을 이용하면 안개값도 추정 가능하다. 빛의 산란에 의해 안개가 적은 지역과 안개가 많은 지역의 임의의 화소들을 비교해 보면 대체로 안개가 많은 지역에서 화소 값이 높게 나타난다. 또한 안개가 많은 지역의 최소 채널 값은 상대적으로 높게 나타난다. 이러한 성질을 이용해서 임의의 영역의 안개 값은 그 영역에서 계산된 최소 채널 값 중 높은 값에 근접한다는 사실을 알 수 있다. 안개값 A 는 dark channel 영역에서 가장 밝은 곳의 값을 선택하는 방식으로 추정한다. 이 방법은 안개 영역이 아닌 곳에서 A 를 오추정 하는 것을 막을 수 있다. He[4]의 논문에 따르면 안개가 없는 맑은 날의 영상에서도 미세한 안개가 포함되어 있기 때문에 이를 w 라는 안개 가중치를 이용하여 식(7)과 같이 전달량을 표현했다.

$$t(x) = 1 - w \times \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in \{r, g, b\}} \left(\frac{I_c(y)}{A_c} \right) \right) \quad (7)$$

$w(0 < w < 1)$ 는 안개 가중치로 실험적 결과에 의해 0.95로 정하였다. 식(1)로부터 $J(x)$ 에 관한 식으로 정리하면 안개가 있는 영상을 안개가 제거된 영상으로 복원하는 식을 계산할 수 있다. 안개 제거 영상 식은 (8)과 같다.

$$J_c(x) = \frac{I_c(x) - A_c}{\max(t_c(x), t_0)} + A_c \quad (8)$$

t_0 는 전달량 $t(x)$ 의 최소 하한 값으로 0보다 작은 값에 t_0 로 나타내고 본 논문에서는 0.1로 한다. 식(7)을 이용하여 안개 영상의 각 화소 위치에서 전달량을 구하고 나면 전달량 맵을 얻을 수 있다. 이 때 dark channel 연산에서 $r \times r$ 의 정방형 윈도우를 적용하기 때문에 각진 형태를 가진다. 이는 원영상의 경계정보를 제대로 반영하지 못한다. 이로 인해 경계 화소 주변이 제대로 복원되지 못하고 안개도 완벽히 제거 되지 않아서 뿌옇게 보이게 되는데 이러한 현상을 후광현상 및 블록 현상이라 한다. 전달량 $t(x)$ 는 좌표 x 에서 개략적으로 국부 영역에 의해 추정된 전달량으로 식(4)에 의해서 후광 및 블록현상을 가지고 있

다. 그래서 기존의 안개 제거 방법에서는 soft matting 기법을 사용하여 개략적으로 추정된 전달량 t 를 정련하였다. 하지만 라플라시안(Laplacian) 행렬을 사용하는 기법의 특성상 영상의 크기가 커질수록, 즉 픽셀수가 많아질수록 연산이 복잡해지기 때문에 처리시간이 오래 소모 된다. 그러한 단점 때문에 이후에는 soft matting 기법 대신 유도 필터(guide filter)나 양방향 필터(bilateral filter)를 사용하여 전달량 정제 과정을 수행하고 있다. 그림 2.2는 DCP 안개 제거 알고리즘의 흐름도이다.



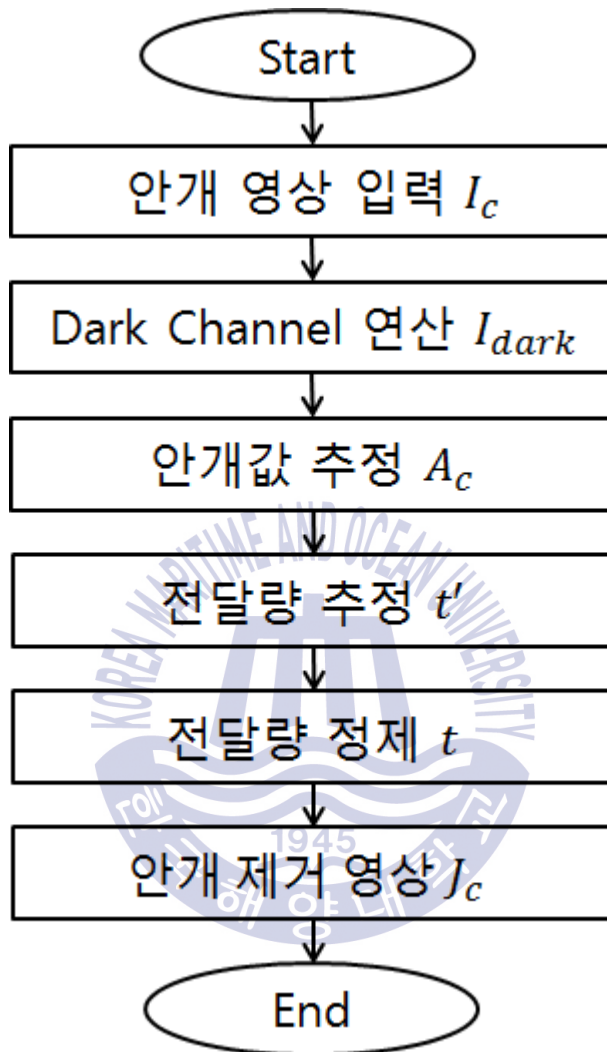


그림 2.2 DCP 안개제거 방법 흐름도

Figure 2.2 DCP haze removal method flow chart



(a) (b)

그림 2.3 DCP를 이용한 안개 제거 영상의 예

(a) 안개 영상 (b) 안개 제거 영상

Figure 2.3 An example image of haze removal using DCP

(a) haze image (b) haze removal image



(a)



(b)

그림 2.4 DCP를 이용한 안개 제거 영상의 예

(a) 안개 영상 (b) 안개 제거 영상

Figure 2.4 An example image of haze removal using DCP

(a) haze image (b) haze removal image

2.3 기존 DCP 안개제거 알고리즘의 문제점

DCP 안개제거 알고리즘을 이용하여 안개를 제거하는 경우 몇 가지 문제점이 발생한다. 안개 제거 결과를 보면 색 왜곡이 크지 않고 전체적으로 안개는 뚜렷하게 제거되었으나 결과 영상의 대비가 적어서 선명함이 떨어지고, 특히 가까운 건물의 경계 부근에서 안개가 완전히 제거되지 못해서 후광 현상 및 블록 현상이 발생한 것을 볼 수 있다. DCP를 이용하여 안개 제거한 결과는 **그림 2.3**, **그림 2.4**와 같다. 그림에서 나타나듯이 dark channel 연산 과정에서 국부 영역의 개략적인 전달량이 추정되기 때문에 여기서 후광 및 블록현상 등이 나타난다. 이 현상을 줄이기 위해 전달량 정제 과정인 유도필터나 양방향 필터, soft matting 방법을 거쳐 안개가 제거된 영상을 구한다[7],[8].

후광 및 블록현상이 일어나는 원인에 대해 분석해 보면, dark channel 연산은 해당 화소의 R, G, B 채널 값 중에서 최소값을 선택하고 해당 채널의 화소를 중심으로 하는 국부 영역에서 최소값을 찾는다. 이 때 국부 영역은 해당 픽셀을 중심으로 $r \times r$ 의 크기를 갖는 윈도우이다. 윈도우의 크기가 달라질수록 **그림 2.5**와 같이 dark channel이 적용된 영상에서 블록 현상이 다르게 나타나고 영상의 경계선 부분에서 그 변화가 커진다. 윈도우에 대한 최소값 필터링을 수행하게 되면, 최소값 필터의 특성에 의해 해당 화소에 대한 R, G, B를 윈도우 내에서 명확히 반영하지 못하기 때문에 물체나 영역의 경계가 소실되거나 왜곡된다. 경계가 왜곡되는 부분은 모든 물체의 경계가 아닌 심도의 차이가 발생하는 경계 부분에서 발생한다. 이때, 적용한 윈도우 크기에 따라 dark channel 영상에서 블록의 크기가 달라지는데 윈도우가 커지면 커질수록 그 정도가 심해진다. 이러한 이유로 심도의 차이가 발생하는 경계영역이나 물체 주변에서 전달량 추정에 어려움이 따르며, 결과적으로 블록현상이 나타난다.

앞의 설명에 근거하여, dark channel 연산에서 발생하는 블록현상을 줄이기 위하여 작은 크기의 윈도우로 안개제거를 하는 방법을 생각할 수 있다. 작은 윈도우 크기를 적용 할 경우, 윈도우 크기가 작으면 작을수록 입력 영상의 경계 정보가 반영되어 잘 보존되고 블록 현상이 감소한다. 경계가 잘 보존된



그림 2.5 윈도우 크기에 따른 dark channel(5x5 15x15 30x30)
Figure 2.5 Dark channel according to window size(5x5 15x15 30x30)

dark channel 영상을 바탕으로 보다 정확한 전달량을 추정 할 수 있게 되므로, 안개 제거 영상에서 블록 현상이 줄어들는다. 그러나 작은 윈도우 크기를 적용하면 영상의 경계는 잘 보존되고 블록현상이 개선 될 수 있으나, 큰 크기의 윈도우를 적용 하는 경우에 비해 dark channel 값이 증가한다. dark channel 값이 증가하면 추정된 전달량은 감소하고, 결과적으로 안개가 제거된 영상의 화소 값들의 감소를 의미한다. 이는 결과적으로 윈도우 크기를 줄이게 되면 영상의 대비가 낮아지고 밝기가 감소하는 현상이 나타난다. 윈도우 크기에 따른 안개 제거 영상을 그림 2.6에 나타내었다. 국부영역을 작게 하면 입력 영상의 경계 선 정보는 포함되지만 영상에서 소실되는 픽셀이 많아져 어두워 질 뿐 아니라 안개값이 잘못 추정되어 영상 중앙의 색이 과포화 되는 결과를 볼 수 있다. 블록현상을 개선하려면 국부영역이 작을수록 좋지만 국부 영역 내에 화소가 적게 포함된 dark channel은 정확성이 떨어지고 영상의 R, G, B 데이터가 너무 작아 dark channel 값이 부정확해진다.



(a)

(b)

그림 2.6 dark channel 연산의 윈도우 크기에 따른 안개제거 영상
 (a) dark channel 윈도우 5x5 (b) dark channel 윈도우 30x30

Figure 2.6 Haze removal image according to
 window size in dark channel

(a) dark channel window 5x5 (b) dark channel window 30x30

이는 곧 영상의 경계선 정보는 포함시킬 수 있으나 dark channel의 심도가 얇아져 적절한 안개제거 방법이 아니다. 안개의 특성상 연속적으로 측정이 불가능하고 영상에서처럼 픽셀로 나타낼 수 없기 때문에 너무 작은 윈도우는 dark channel 연산 본질에 왜곡된다. 영상의 심도를 표현하는 dark channel은 어두운 픽셀 정보를 많이 포함 할수록 더 좋다. 또한 윈도우 크기가 커질수록 안개 정보와 사물정보, 즉 화소 정보를 잘 포함되고 색도 올바르게 보존시킬 수 있다.



제 3 장 제안하는 안개 제거 방법

Dark channel 연산에서 윈도우가 커지면 심도 변화가 발생하는 경계부분에서 블록현상이 발생하고, 윈도우가 작으면 경계선정보는 보존하지만 소실되는 화소가 많아지기 때문에 정량의 대기 값을 추정할 수 없다.

그림 3.1은 본 논문에서 제안하는 안개제거 방법을 나타낸다. 제안하는 안개 제거 방법은 1차적으로 dark channel 연산을 통해 얻어진 I_{dark1} 에서 심도의 변화가 큰 부분에서 윈도우 크기에 따라 블록현상이 나타나는데 이를 확률적 특성인 엔트로피를 이용하여 계산해 심도정보가 반영된 경계선 정보를 찾는다. 심도의 변화가 크지 않은 지역에서는 dark channel 정보가 크게 변하지 않고, 심도의 변화가 큰 경계가 있는 지역에서 dark channel 정보가 변한다. 이를 이용하여 dark channel 값 I_{dark1} 를 확률로 표현하고 엔트로피를 계산한다. 심도의 변화가 크게 발생하지 않은 지역에서는 정보의 차이가 크지 않기 때문에 엔트로피 값이 크고, 심도의 변화가 크게 발생하는 지역에서 정보의 차이가 발생하기 때문에 엔트로피의 값이 작다. 이렇게 계산된 엔트로피의 차이는 블록현상이 발생하는 경계선 부분을 나타낸다.

블록현상이 발생하는 경계선을 예측한 후 dark channel 정보를 통해 계산된 엔트로피 값을 이용하여 엔트로피 값이 큰 지역에서는 비교적 큰 크기의 윈도우를 적용한다. 블록현상이 발생하는 엔트로피가 낮은 지역에서는 그 값에 따라 상대적으로 작은 윈도우를 적용해 입력 영상의 경계선 정보는 보존하고 안개의 특성을 반영하여 기존의 방법에서 발생하는 블록현상을 개선한다. 적응적인 윈도우를 적용하여 새로운 dark channel I_{dark2} 를 구하고 여기에서 안개값 A 를 추정한다. 최소 채널값의 상위 0.1%에 해당하는 화소를 안개값 A 로 설정하는데 그 이유는 흰색 물체가 안개값으로 판단되는 오류를 막기 위함이다. 안개값을 결정한 후 새롭게 계산된 I_{dark2} 를 이용하여 새로운 전달량 $t(x)$ 을 구한다. 국부영역의 윈도우는 안개는 한 화소에 의해서 표시 될 수 있는 것이 아니기 때문에 흐트러져 있는 안개의 특성을 생각해 최소 윈도우는 5 x 5로 선택했다. 새롭게 구한 전달량을 양방향 필터로 정제하여 복원된 영상을 구한다.



그림 3.1 제안하는 안개제거 방법

Figure 3.1 Proposed haze removal method

3.1 엔트로피를 이용한 심도가 반영된 경계선 정보 추출

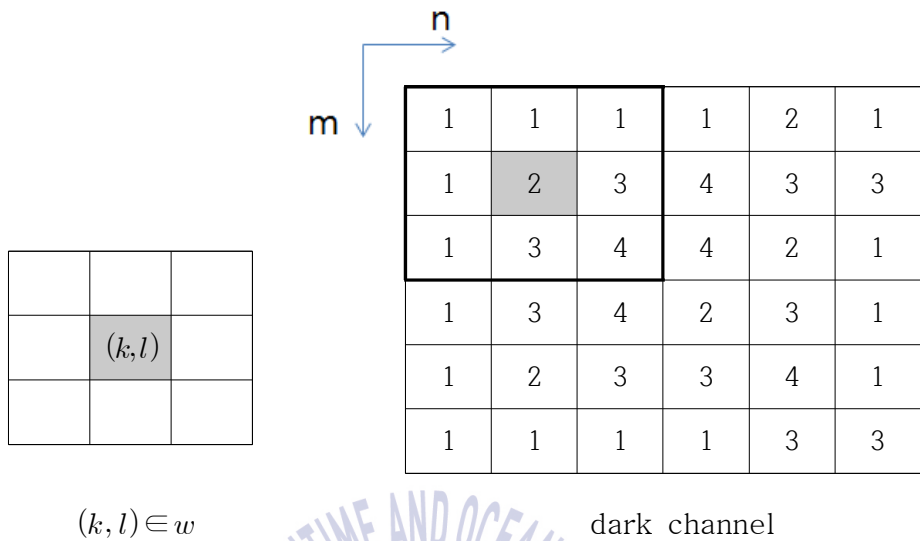
입력영상의 dark channel 연산을 통해 얻어진 I_{dark1} 에서 국부적인 영역에 대한 엔트로피를 계산한다[13]-[17]. 엔트로피 연산을 I_{dark1} 에서 한 이유는 지형에 따라 또는 관측자의 위치에 따라 다르고 안개의 농도와 두께는 습도, 기온 등 다양한 환경적인 요소에 의해 결정되기 때문에 안개라는 특성은 불규칙하고 정확한 양을 예측하기 쉽지 않다. 때문에 안개는 하나의 입자로 표현 할 수 없고 영상에서도 하나의 픽셀로 나타낼 수 없다.

엔트로피의 특성도 화소의 발생 확률에 따른 불확실성을 나타내는 방식이기 때문에 안개라는 특성이 반영되고 입력영상의 심도가 포함된 dark channel 영상에서 찾는 것이 적절하다. Dark channel 영상은 안개의 양만을 가지는 영상이 아니라 심도의 차이를 나타내는 영상이다. 여기서 입력영상의 모든 경계가 아닌 심도 차이가 나타나는 경계에서 블록현상을 발생한다. 따라서 dark channel 영상에서 불규칙적인 안개영상의 정보를 엔트로피라는 확률적 특성을 이용하여 심도가 변화하는 부분을 예측 할 수 있다.

엔트로피 계산 과정은 그림 3.2와 같다. 국부적 영역의 확률 값 P 를 계산한 후, 각 화소 값에 대입한다. 이때 확률 P 는 구하려는 해당 화소의 값을 국부적 영역의 화소의 합으로 나누게 되면 국부 영역 내에서 화소가 발생할 수 있는 확률로 나타낼 수 있다. 국부 영역에서의 화소 값의 총합이 발생할 수 있는 전체의 확률을 나타낸다. 이를 식으로 나타내면 (9)와 같다.

$$P_{mn}(k,l) = \frac{I_{dark1}(m-k,n-l)}{\sum_{(k,l) \in w} \sum I_{dark1}(m-k,n-l)} \quad (9)$$

여기서 P_{mn} 은 I_{dark1} 영상의 윈도우 w 안에서 각 화소의 dark channel값과 전체 화소의 dark channel 값의 합의 비를 확률로 나타낸다. 분모는 I_{dark1} 에서 윈도우



$$E_{(k,l)}(m,n) = - \sum_{(k,l) \in W} \sum p_{mn}(k,l) \log_2 p_{mn}(k,l) = 1.74$$

그림 3.2 dark channel에서 화소 (k,l) 엔트로피를 구하는 과정
Figure 3.2 The process of obtaining pixel (k,l) entropy in dark channel

우 내의 총 화소의 합을 나타내고 분자는 I_{dark1} 에서 계산하려는 해당 화소 (k,l) 의 값을 나타낸다. 이는 해당 화소에서 그 화소가 출력될 확률을 뜻한다. 식 (9)는 측정하는 국부 영역의 화소 발생 확률을 나타내고 이것을 구하고자 하는 국부영역의 엔트로피 계산식으로 나타내면 식(10)와 같다.

$$E(m,n) = - \sum_{(k,l) \in w} \sum p_{mn}(k,l) \log_2 p_{mn}(k,l) \quad (10)$$

여기서 E 는 구하고자 하는 엔트로피 값으로써 해당 화소 (k,l) 중심의 윈도우 내에서의 각 화소에 대한 확률 P_{mn} 을 로그 함수의 합으로 나타낸다. 확률에 대한 로그함수의 합은 분수로 나타나기 때문에 음수의 결과 값이 나오므로 식 앞에 $-$ 를 취해 양수의 값으로 나타낸다. 예로써 **그림 3.2**에서 중심화소 (k,l) 을 윈도우 영역으로 식(10)을 이용하여 엔트로피를 계산하면 1.74의 값이 나오며 이 값은 dark channel 영상에서 해당 화소 (m,n) 에 대한 3 x 3 국부적 영역의 엔트로피 값을 나타낸다. 해당 화소 (m,n) 에 대한 엔트로피 값을 계산한 후 윈도우를 전체 영상에 대해서 계산하면 이미지 데이터에 대한 엔트로피 배열을 구할 수 있다. 계산된 엔트로피 배열은 **그림 3.3 (c)**와 같이 주어진다.

화소간의 확률 특성을 이용해 엔트로피를 계산하게 되면 사물 영역과 안개 영역은 최소값 마스크에 의한 dark channel 값이 일정하기 때문에 엔트로피가 높게 나타난다. 한편 두 영역의 경계에서는 dark channel 값이 일정하지 않고 차이가 발생하기 때문에 엔트로피가 낮게 나타난다. 두 영역에서 dark channel 값의 차이가 발생함을 이용해서 엔트로피를 계산하면 그 값의 차이가 경계선 정보로 나타난다. 여기서 계산된 경계선 정보는 입력영상의 경계선 정보가 아닌 심도 맵을 나타내는 dark channel 값의 차이를 엔트로피로 계산된 경계선 정보이다. 따라서 모든 사물의 경계가 아닌 심도의 차이에 의한 블록현상이 발생하는 경계선 정보를 예측할 수 있다. **그림 3.3**의 엔트로피 영상을 히스토그램으로 나타내면 **그림 3.4**와 같다. 히스토그램의 y 축은 엔트로피의 분포를 나타내고 x 축은 화소의 엔트로피 값을 나타낸다. 엔트로피를 계산하는 윈도우는 8 x 8의 윈도우를 사용했는데 그 이유는 실험 결과 8 x 8의 윈도우는 비교적



(a)



(b)



(c)

그림 3.3 확률 특성을 이용하여 구한 Entropy 영상

(a) 입력영상 (b) I_{dark1} (c) 엔트로피 영상

Figure 3.3 Entropy image obtained by using probability property

(a) input image (b) I_{dark1} (c) entropy image

적은 연산량으로 국부 영역의 심도 맵인 dark channel에서 경계선 정보를 세밀하게 계산 할 수 있다. 식 (10)를 이용하여 엔트로피를 계산하면 최대값은 6.4의 값을 가진다. 확률의 합으로 표현되는 엔트로피는 계산 할 때 그 값의 차이가 크지 않고 경계선 영역이 아닌 부분에서는 dark channel 값의 변화가 크지 않기 때문에 대체적으로 계산된 값이 크다. 또 dark channel 값의 변화가 크지 않은 부분이 많기 때문에 엔트로피 값이 커질수록 히스토그램이 세밀하게 분포된다. 그림 3.4의 히스토그램 분포를 이용해서 적응적 윈도우를 적용할 부분을 구한다.

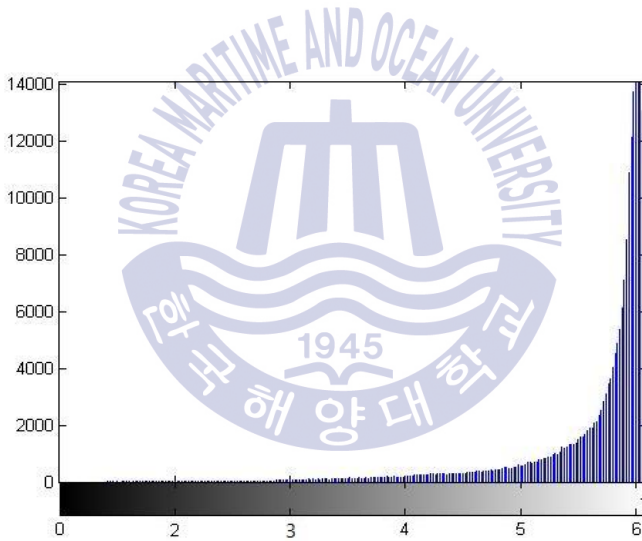


그림 3.4 그림 3.4 실험영상의 엔트로피 히스토그램
 Figure 3.4 Entropy histogram of experimental images

3.2 적응적인 윈도우를 적용한 전달량 추정에 의한 안개제거

엔트로피 값을 이용해서 세 개의 영역으로 분할한다. 세 개의 영역으로 분할하는 이유는 실험결과 경계선 영역에서 발생하는 블록현상을 줄이는데 영역 분할이 많아질수록 계산량이 증가해 처리속도가 오래 걸리고 안개특성을 반영한 최소의 윈도우를 5 x 5를 사용했기 때문에 적응적 윈도우를 적용하여 구한 I_{dark2} 에서 개선된 블록현상의 차이가 크지 않다. 그래서 처리속도를 줄이고 간략한 처리를 위해 많은 종류의 윈도우를 사용할 필요가 없기 때문에 영역을 세 영역으로 나누고 세 종류의 윈도우를 가지고 dark channel을 구한다. **그림 3.4**의 히스토그램을 이용하여 영상을 분할한다. 영상을 분할하는 기준 z_1 , z_2 은 식 (11)과 같다.

$$z_1 = \left(\sum_{i=0}^n h_i(y) \right) \times \frac{2}{3} \quad z_2 = \left(\sum_{i=0}^n h_i(y) \right) \times \frac{1}{3} \quad (11)$$

$h_i(y)$ 는 **그림 3.4**의 y 축인 히스토그램 분포를 나타낸다. z_1 은 히스토그램 분포들을 합한 값의 상위 33%에 해당하는 x 축의 엔트로피 값이고 z_2 은 합한 값의 하위 33%에 해당하는 x 축의 엔트로피 값이다. **그림 3.5**는 z_1 와 z_2 을 이용해 엔트로피 영상을 세 개의 영역으로 나눈 영상이다. 검은색 영역이 엔트로피가 z_1 보다 큰 영역을 나타내고 회색 영역은 z_1 와 z_2 사이의 영역, 흰색은 그 나머지 영역이다. **그림 3.4**의 엔트로피 영상의 히스토그램을 보면 대체적으로 엔트로피가 큰 값에 많이 분포 돼있다. 심도의 차이가 발생하는 엔트로피가 작은 경계선 영역이 많지 않기 때문이다. 엔트로피 값이 대체적으로 크기 때문에 영상 분할 기준인 z_1 , z_2 의 값이 대체적으로 높다. 그래서 검은색에 해당하는 큰 크기의 윈도우를 적용 할 부분이 많다.

그림 3.5의 결과를 이용해 엔트로피 값에 따라 적응적으로 윈도우를 적용한다. 엔트로피 값이 크면 dark channel 값의 변화가 크지 않은 영역이고 엔트로

피 값이 작으면 dark channel 값의 변화가 큰 심도의 차이가 발생하는 경계선 영역이다. 블록현상이 많이 발생하지 않는 엔트로피 값이 큰 부분에서는 큰 크기의 윈도우를 적용하고 블록현상이 발생하는 엔트로피 값이 작은 경계선 부분에서는 상대적으로 작은 크기의 윈도우를 적용시킨다. 적응적인 윈도우를 적용해 새로운 dark channel I_{dark2} 을 구하는 식은 (12)와 같다.

$$I_{dark2}(x) = \min_{y \in \Omega_i(x)} \left(\min_{c \in \{r, g, b\}} \left(\frac{I_c(y)}{A_c} \right) \right) \text{ when } i = 1, 2, 3 \quad (12)$$

I_{dark2} 는 I_{dark1} 의 dark channel 값을 계산한 엔트로피를 이용해 그 값에 따라서 적응적인 윈도우를 적용하여 얻은 새로운 dark channel이다. 여기서 Ω_i 는 엔트로피 값에 따른 국부영역의 변화를 나타낸다. i 는 엔트로피 값에 따라 적응적인 윈도우를 적용할 영역을 나눈 개수이다.

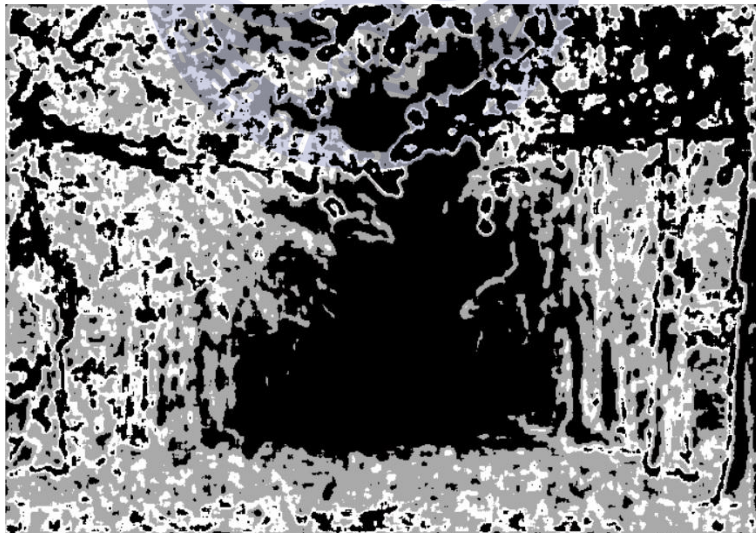


그림 3.5 엔트로피 값에 따른 적응적인 윈도우 적용 구역 분할

Figure 3.5 Adaptive window partitioning according to entropy value

엔트로피 값에 따른 적응적인 윈도우를 적용할 기준은 식(13)과 같다.

$$\Omega_i = \begin{cases} \Omega_1, & \text{if } E(x) \leq z_2 \\ \Omega_2, & \text{if } z_2 < E(x) < z_1 \\ \Omega_3, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

여기서 $E(x)$ 는 화소 x 의 엔트로피 값이다. 첫 번째 가정은 그림 3.5에서 엔트로피 값이 z_2 보다 작은 흰색 영역이고 두 번째 가정은 z_1 과 z_2 사이에 해당하는 회색 영역이다. 그리고 나머지는 검은색 영역이다.

그림 3.5에서 엔트로피 값이 큰 검은색으로 표시된 영역에서는 큰 크기의 윈도우 $\Omega_3(13 \times 13)$ 을 적용하고 엔트로피 값이 작은 경계선 정보가 포함되어야 할 구역인 회색과 흰색 영역에서는 $\Omega_2(9 \times 9)$, $\Omega_1(5 \times 5)$ 의 비교적 작은 크기의 윈도우를 적용한다. 식(12)을 이용해 블록현상이 예측되는 부분에 적응적인 윈도우를 적용해 블록현상을 개선한 새로운 dark channel I_{dark2} 을 구하고 식(5)에 의거하여 식(1)에 대입하면 식(14)을 유추 할 수 있다.

$$t(x) = 1 - w \times \min_{y \in \Omega_i(x)} \left(\min_{c \in \{r, g, b\}} \left(\frac{I_c(y)}{A_c} \right) \right) \text{ when } i = 1, 2, 3 \quad (14)$$

그림 3.6은 엔트로피 값에 따라 적응적으로 윈도우를 적용하여 새롭게 구한 dark channel I_{dark2} 와 전달량 맵이다. I_{dark2} 는 dark channel이라는 심도 맵을 이용하여 블록현상이 발생하는 구역의 경계선 정보를 엔트로피라는 확률 특성을 이용해 구하고 블록현상이 발생하는 영역을 예측하여 엔트로피 값에 따라 윈도우 크기를 적응적으로 적용하여 경계의 소실 또는 왜곡을 줄인다.

제안하는 방법은 국부영역의 안개값과 전달량을 추정하기 때문에 입력영상의 경계선정보를 명확히 반영하지 못하고 블록현상이 어느 정도 남아있다. 제안한 방법에 의해 얻은 전달량 맵은 보다 정확한 안개 제거를 위해 후처리 과정으로 전달량 정제(refinement)과정을 거친다. 안개라는 특성을 반영한 국부영역에 대한 처리 이므로 안개제거 영상의 블록현상과 후광현상을 억제하기 위해서는



(a)



(b)

그림 3.6 적응적인 윈도우를 이용하여 구한 dark channel과 전달량

(a) 제안하는 방법의 dark channel (b) 제안하는 방법의 전달량

Figure 3.6 Dark channel and transmission map obtained using the adaptive window

(a) proposed method dark channel (b) proposed method transmission

전달량 정제 과정이 반드시 필요하다. 이 문제를 양방향 필터를 이용하여 전달량 맵의 정보와 입력영상의 기울기 정보를 반영하여 경계선 영역을 조밀하게 표현 한다[18]-[19].

양방향 필터는 영상의 경계는 그대로 보존하면서 그 주변의 잡음만 제거하는 스무딩 필터이다. 가우시안 필터(gaussian filter)와 유사하지만 두 개의 가중치 중 하나가 중심화소로부터 거리에 따라 결정되는 값이 아닌 중심 화소 값의 밝기 차이에 따라 결정되는 가중치를 사용한다. 그림 3.7에 양방향 필터를 사용하여 정제된 전달량 맵을 나타내었다. 그림 3.7(a)는 실험영상이고 그림 3.7(b)는 제안한 방법으로 구한 전달량 맵이다. 제안한 방법에 의해 구해진 전달량 맵은 국부영역에 대한 처리이므로 아직 블록현상이 남아 있다. 이러한 전달량 맵에 양방향 필터를 적용해 구한 영상은 그림 3.7(c)와 같다. 입력영상의 기울기 정보를 반영하여 주변의 잡음만 제거되기 때문에 조밀하게 표현된다.

정제 후 구해진 전달량 $t(x)$ 와 입력영상 $I(x)$, 안개값 A 각각의 파라미터를 2.2절의 식 (7)에 대입하여 안개가 제거된 영상을 구한다.





(a)



(b)



(c)

그림 3.7 양방향 필터를 이용한 전달량 정제

(a) 입력 영상 (b) 제안하는 방법의 전달량 맵 (c) 정제후 전달량 맵

Figure 3.7 Refinement the transmission using bilateral filter

(a) input image (b) proposed method transmission map

(c) transmission map after refinement

제 4 장 실험 및 고찰

제안한 방법의 알고리즘을 사용하여 여러 장의 안개 영상에 대입해 실험하였다. 비교 대상은 기존 방법인 DCP를 통해 출력된 영상이고 다양한 안개 특성에 대한 성능을 확인하기 위하여 분포된 영역의 크기 및 농도가 다른 영상을 사용하여 비교하고 개선된 성능을 살펴본다. 평가 방법은 객관적 평가가 가능한 정량적인 기준이 없기 때문에 표 4.1의 기준으로 정성적인 분석을 하였다.

표 4.1 제안한 방법의 실험 조건

Table 4.1 Experiment conditions about proposed method

item	value
I_{dark1} 윈도우 크기	5 x 5
E_c 윈도우 크기	8 x 8
I_{dark2} Ω_i 윈도우 크기	13 x 13, 9 x 9, 5 x 5
양방향 필터 윈도우 크기	10 x 10
양방향 필터 σ_s, σ_r	15, 100

I_{dark1} 의 윈도우 크기는 엔트로피 계산으로 좀 더 세밀한 경계선정보 획득을 위하여 5 x 5의 크기로 설정했다. 제안한 방법과 He의 DCP방법으로 얻은 안개 제거 영상을 비교하기 위해 다양한 안개 영상을 그림 4.1에 나타내었다. 4.1(a)는 영상의 중앙에서 심도가 깊어지며 심도가 깊어지는 부분에 경계선 정보를 다수 포함하고 있는 영상이고 4.1(b)는 영상 상단으로 갈수록 심도가 깊어지며 경계선 정보는 많지 않은 영상이다. 4.1(c)는 심도의 차이가 명확하고 안개가 많은 영상이고 4.1(d)는 안개는 많지 않지만 심도 차이가 명확한 영상이다. 조건이 다른 4개의 영상에 기존 DCP와 제안한 방법의 결과를 비교하여 블록현상의 개선여부를 확인한다.



(a)

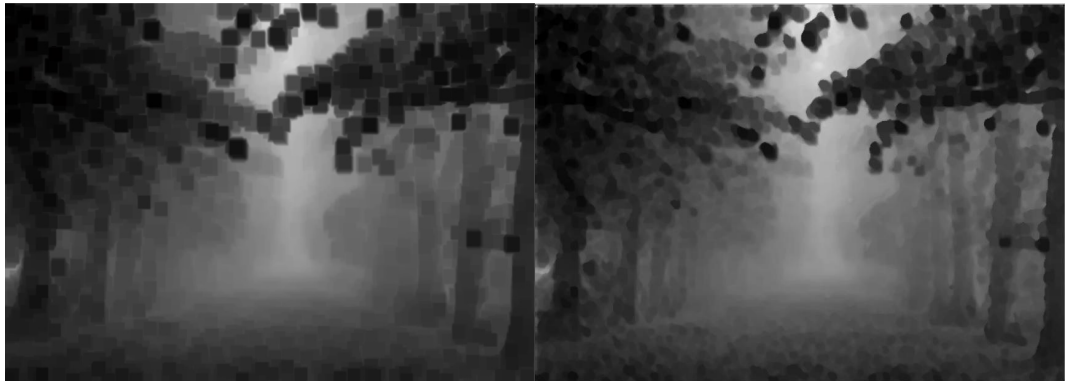
(b)



(c)

(d)

그림 4.1 안개 영상
Figure 4.1 Fog image



(a)

(b)



(c)

(d)

그림 4.2 4.1(a)의 기존방법과 제안한 방법의 dark channel과 안개제거 영상

(a) 기존의 dark channel (b) 제안하는 dark channel

(c) 기존의 방법의 결과 (d) 제안하는 방법의 결과

Figure 4.2 The dark channel and fog removal image of the existing method and proposed method of 4.1 (a)

(a) existing method dark channel (b) proposed method dark channel

(c) existing method result (d) proposed method result

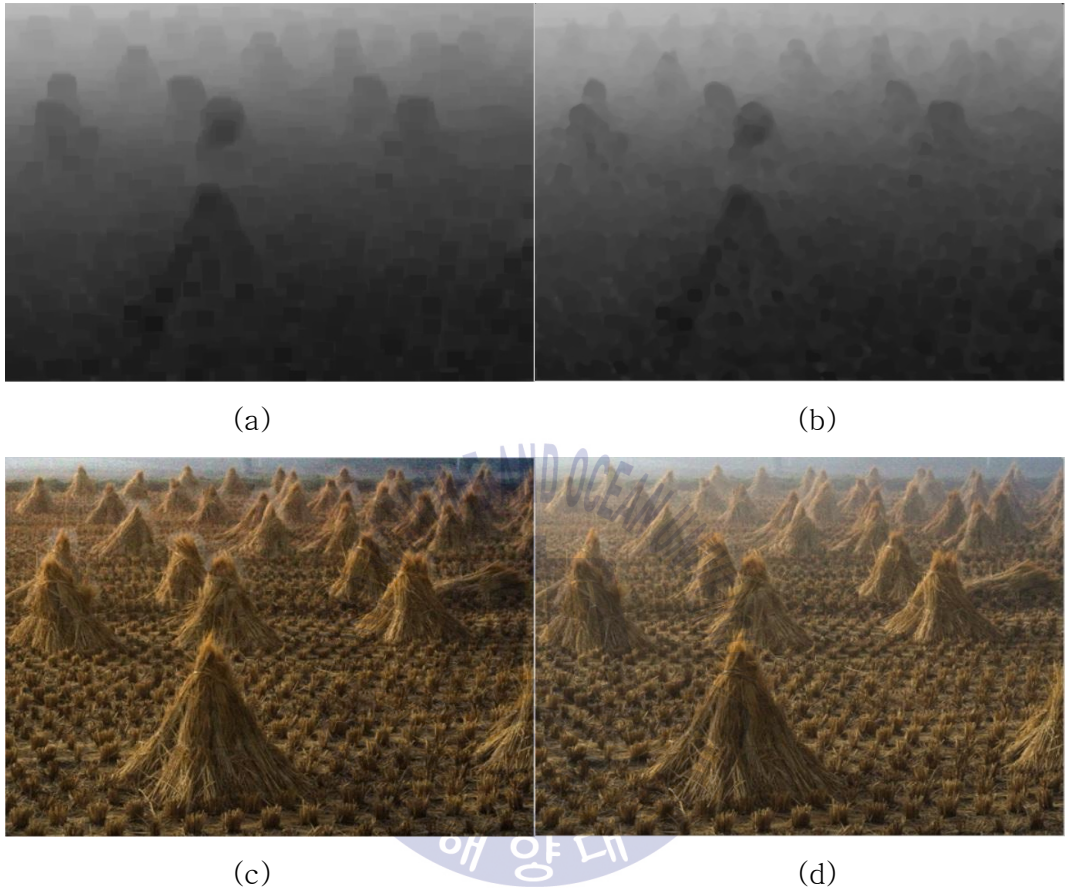


그림 4.3 4.1(b)의 기존방법과 제안한 방법의 dark channel과 안개제거 영상

(a) 기존의 dark channel (b) 제안하는 dark channel

(c) 기존의 방법의 결과 (d) 제안하는 방법의 결과

Figure 4.3 The dark channel and fog removal image of the existing method and proposed method of 4.1 (b)

(a) existing method dark channel (b) proposed method dark channel

(c) existing method result (d) proposed method result

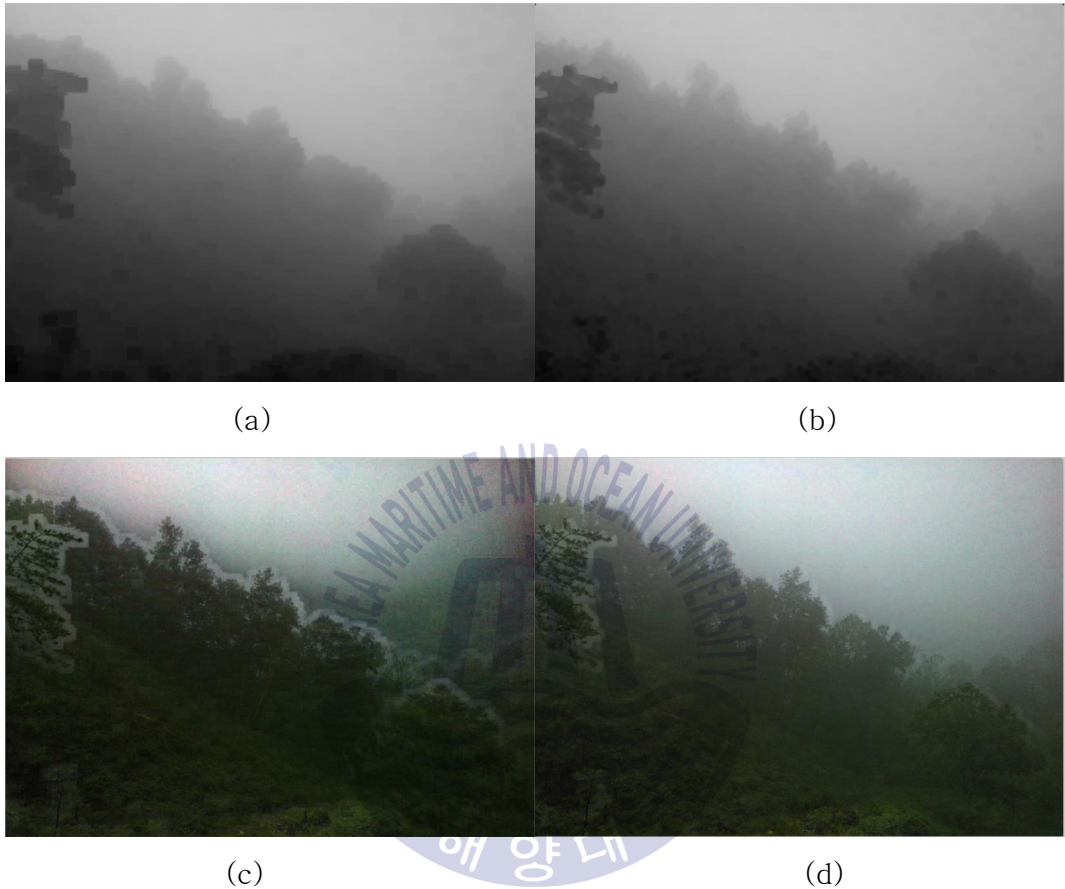


그림 4.4 4.1(c)의 기존방법과 제안한 방법의 dark channel과 안개제거 영상

(a) 기존의 dark channel (b) 제안하는 dark channel

(c) 기존의 방법의 결과 (d) 제안하는 방법의 결과

Figure 4.4 The dark channel and fog removal image of the existing method and proposed method of 4.1 (c)

(a) existing method dark channel (b) proposed method dark channel

(c) existing method result (d) proposed method result



(a)

(b)



(c)

(d)

그림 4.5 4.1 (d)의 기존방법과 제안한 방법의 dark channel과 안개제거 영상

(a) 기존의 dark channel (b) 제안하는 dark channel

(c) 기존의 방법의 결과 (d) 제안하는 방법의 결과

Figure 4.5 The dark channel and fog removal image of the existing method and proposed method of 4.1 (d)

(a) existing method dark channel (b) proposed method dark channel

(c) existing method result (d) proposed method result



(a)

(b)



(c)

(d)

그림 4.6 전달량 정제 영상

Figure 4.6 transmssion refinement image

그림 4.2의 영상은 전체적으로 깊이가 크고, 영상 중앙으로 갈수록 안개가 짙어진다. 심도의 차이가 발생하는 중앙의 나뭇잎이 겹치는 부분과 비교적 가까운 나뭇가지에서 블록현상이 강하게 나타남을 볼 수 있다. 기존 DCP와 제안한 방법의 결과를 비교해보면 이 부근에서 적응적인 윈도우를 사용한 효과를 나타낸다. 블록현상이 개선되었음을 확인할 수 있지만 여전히 블록현상이 남아 있다. 그 이유는 안개라는 특성을 적용해 5 x 5의 윈도우를 최소 윈도우로 사용하였기 때문이다.

그림 4.3의 영상은 영상 상단에서 심도가 깊어지는 영상이다. 4.2의 영상보다 심도가 더 깊어 심도의 차이가 명확히 나타난 영상이다. 사물 근처에서 블록현상이 강하게 나타나고 저 대비 현상이 일어날 뿐 아니라 영상 상단에서 얻어진 적은 전달량으로 인해 색이 과포화 되는 현상이 있다. 제안한 방법을 적용한 결과 블록현상도 개선되었고 새롭게 구한 I_{dark2} 에서 새롭게 안개값을 추정해 오추정 된 안개값을 줄여 상단에서 발생하는 색의 과포화 현상도 개선됨을 확인할 수 있다.

그림 4.4의 영상은 영상 상단에서 깊이가 깊어지고 안개로 추정되는 영역이 크다. 경계선 정보가 많지 않지만 심도의 차이가 발생하는 부분에서 블록현상이 발생하고 하늘영역에서 색상 왜곡이 심하게 나타난다. 기존의 DCP 방법에서 윈도우 크기를 큰 윈도우로 안개제거를 한 이유가 흰차나 흰자동차가 안개값으로 판단되는 오류를 줄이기 위해서였고, 설원이나 흰색 벽이 바탕으로 되어있는 사진을 피했던 이유이다. 제안한 방법의 결과는 심도의 차이가 발생하는 경계선에서 블록현상은 줄었고 넓은 하늘 영역에 대해 색이 과포화 되는 현상도 개선되었다. 영상 중앙의 우측을 보면 과포화 되어 부정확하게 보였던 산이 과포화현상을 줄여 더 명확히 보인다.

그림 4.5의 영상은 하늘영역은 크게 나타나있고 심도의 차이도 명확히 가지고 있는 영상이다. 영상의 상단에서 심도의 차이가 발생하는 경계선 정보를 가지고 있어 블록현상이 발생할 뿐 아니라 상단의 하늘 영역에서 색이 변한다. 제안한 방법의 결과 영상을 보면 블록현상이 개선되었고 과포화 현상도 줄어 하늘영역이 자연스러운 결과를 나타낸다.

제 5 장 결 론

본 논문에서는 안개 영상에서 전달량을 효율적으로 추정하고 안개 제거 영상에서 발생하는 블록현상을 줄이기 위해 확률적 특성인 엔트로피를 계산하여 그 값에 따라 적응적 윈도우를 적용하여 새로운 dark channel을 구하는 방법을 제안하였다.

입력영상의 경계가 아닌 심도의 차이에서 기인하는 경계선 지역에서 발생하는 블록현상을 줄이기 위해 dark channel 영상 I_{dark1} 에서 엔트로피를 이용하여 경계선정보를 찾고 계산된 엔트로피 값에 따라 13 x 13, 9 x 9, 5 x 5의 적응적인 윈도우를 적용하였다. 이때, 블록현상이 예측되는 경계선 부분에 상대적으로 작은 크기의 윈도우를 적용하여 새로운 dark channel 영상 I_{dark2} 을 구하였다. 본 논문에서 제안하는 방법의 우수성을 검증하는 방법으로 동일한 입력영상에 대하여 제안하는 방법과 기존의 DCP 알고리즘에 적용한 결과를 비교, 분석하였다. 그 결과 심도의 차이가 발생하는 경계선 부분에서 발생하는 블록현상의 크기를 줄여 개선된 안개 제거 영상이 나오는 것을 확인 하였다.

결과 영상에서 알 수 있듯이 일부 블록현상이 남아있는 부분은 안개 특성을 고려해 적응윈도우의 최소단위를 5 x 5로 제한한 결과이다. 또한 블록현상이 일정하게 감소하지 않고 한쪽으로 편중되어 있는 이유는 dark channel 값에 대한 확률적 특성이기 때문에 경계선정보가 입력영상과 완전히 일치 하지 않기 때문이다. 이러한 현상은 입력영상의 에지정보를 반영하는 양방향 필터 등을 이용한 후처리 과정으로 전달량 정제를 하여 개선 될 수 있음을 확인하였다.

따라서 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 보완, 개선하여 안개 영상뿐만 아니라 수중영상, 야간영상 등 가시성 향상을 기반으로 하는 다양한 분야에 적용시킬 수 있도록 연구를 진행 할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] E. R. Davies, *Machine Vision, Third Edition : Theory, Algorithms, Practicallities (Signal Processing and its Applications)*, Morgan Kaufmann, 2005.
- [2] Z. Rahman, D. Jobson, and G. Woodell, "Multi-scale retinex for color image enhancement," *IEEE Proceeding International conference on Image Processing*, vol. 3, pp. 1003-1006, 1996.
- [3] G. Yadav, S. Maheshwari, and A. Agarwal, "Contrast limited adaptive histogram equalization based enhancement for real time video system," *2014 International Conference on Communications and Informatics Advances in Computing(ICACCI)*, pp. 2392-2397, 2014.
- [4] J. H. Kim, J. Y. Sim, and C. S. Kim, "Single image dehazing based on contrast enhancement," *Proceedings of the IEEE Acoustics, Speech and Signal Processing*, pp. 1273-1276, 2011.
- [5] R. T. Tan, "Visibility in bad weather from a single image," *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1-8, 2008.
- [6] R. Fattal, "Single image dehazing," *ACM Transactions on Graphics*, vol. 27, no. 3, pp. 1-9, 2008.
- [7] K. He, J. Sun, and X. Tang, "Single image haze removal using dark channel prior," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 33, no. 12, pp. 2341-2353, 2011.
- [8] K. He, J. Sun, and X. Tang, "Guided image filtering," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 35, no. 6, pp. 1397-1409, 2012.

- [9] S. Yang, Q. Zhu, J. Wang, D. Wu, and Y. Xie, "An improved single image haze removal algorithm based on dark channel prior and histogram specification," *Proceedings of the 3rd International Conference on Multimedia Technology*, pp. 279–292, 2013.
- [10] Jong-Hyun Kim and Hyung-Tai Cha, "Improved Dark Channel Prior Dehazing Algorithm by using Compensation of Haze Rate Miscalculated Area", *Journal of Broadcast Engineering*, vol. 21, no. 5, pp. 770–781, 2016.
- [11] Sun-A Moon, Won-Tae Kim, and Tae-Hwan Kim, "High-Speed and High-Quality Haze Removal Method Based on Dual Dark Channels", *Journal of Broadcast Engineering*, vol. 20, no. 5, pp. 697–705, 2015.
- [12] H. Koschmieder, *Theorie der horizontalen sichtweite: kontrast and Sichtweite. Keim & Nennich*, 1925.
- [13] C. E. Shannon, "Prediction and entropy of printed English," *The Bell System Technical Journal*, vol. 30, pp. 50–64, 1951.
- [14] Soon H. Kwon, "Image Thresholding based on the Entropy Using Variance of the Gray Levels", *Journal of The Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 21, no. 5, pp. 543–548, 2011.
- [15] Baljit Singh, "Edge Detection in Gray Level Images based on the Shannon Entropy," *Journal of Computer Science 4*, pp. 186–191, 2008.
- [16] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins, *Digital Image Processing using MATLAB*, Pearson, NJ , 2004.
- [17] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Third Edition, Prentice Hall, 2007.
- [18] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral Filtering for Grey and Color Images," *Proc. IEEE ICCV*, pp. 839–846, 1998.
- [19] C Xiao and J Gan, "Fast image dehazing using guided joint bilateral filter," *Vis. Coumput*, pp. 713–721, 2012.