

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제20권 제5호, 2015년 9월 (JBE Vol. 20, No. 5, September 2015)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2015.20.5.1>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

이중 다크 채널에 기반한 고속 고품질의 안개 제거 방법

문선아^{a)}, 김원태^{b)}, 김태환^{a)†}

High-Speed and High-Quality Haze Removal Method Based on Dual Dark Channels

Sun-A Moon^{a)}, Won-Tae Kim^{b)}, and Tae-Hwan Kim^{a)†}

요 약

본 논문에서는 서로 다른 윈도우 크기를 적용한 다크 채널을 결합하여 전달량을 추정하고, 이를 바탕으로 한 고속 고품질의 안개 제거 방법을 제안한다. 기존의 soft matting 기법이나 유도 필터를 도입한 dark channel prior(DCP) 기반의 안개 제거 방법은 계산 복잡도가 높아 보정에 소요되는 시간이 길 뿐만 아니라 후광 현상을 완전히 억제하지 못하는 한계가 있다. 후광 현상은 개략적으로 추정된 전달량과 실제 전달량 사이의 오차에서 기인하는 것으로, 제거해야 할 안개의 양을 잘못 추정하여 영상에서 안개가 잔존함에 따라 발생하게 된다. 이러한 후광 현상은 복원 영상의 품질을 열화시키므로 이를 개선해야 할 필요가 있다. 제안하는 방법은 효과적으로 전달량을 추정하여 만족할 만한 품질의 복원 영상을 획득하면서 동시에 복잡한 전달량 정련 절차를 생략하여 고속의 보정이 가능케 하였다. 제안하는 방법에서는 서로 다른 두 개의 윈도우 크기를 적용한 다크 채널(dark channel)의 차분 영상을 이용하여 후광 영역을 예측한다. 이와 같이 예측된 결과를 바탕으로 두 다크 채널을 결합하여, 이중 다크 채널에 기반하여 전달량을 추정한다. 기존의 다크 채널의 경우, 다크 채널 연산을 수행한 이후에 복원 영상에서 블록 현상이나 복원 영상의 밝기가 감소하는 문제를 갖는 것에 비해, 제안하는 다크 채널은 다크 채널 연산 이후에도 영상의 경계가 잘 보존되며 복원 영상의 밝기가 유지되는 장점이 있다. 제안하는 다크 채널을 기반으로 추정된 전달량을 통해, 후광 현상을 효과적으로 억제하고 추가적인 전달량 정련 과정을 생략할 수 있다. 그 결과, 640×480 크기의 영상 기준으로, 복원 영상의 품질은 개선함과 동시에 기존 방법 대비 14.2배의 속도 향상을 달성하였다.

Abstract

This paper proposes a high-speed and high-quality haze removal method based on dual dark channels. In the conventional method, the halo artifacts are suppressed by the additional transmission refinement, but the transmission refinement is computationally intensive and the quality of the haze removal is sometimes unsatisfactory because of the residual halo artifacts. In the proposed method, the transmission is estimated with the mixture of the two dark channels with different window size. By mixing the two dark channels so as to avoid the halo artifacts, the proposed method realizes a high-quality haze removal even without the transmission refinement. Experimental results demonstrate that the quality of the results by the proposed method is superior to those by the conventional method and the speed of the haze removal is about 14.2 times higher than that of the conventional method.

Keyword : haze removal, halo artifact, dual dark channels, halo region prediction, transmission estimation

1. 서론

최근 보안이나 감시 등을 목적으로 주변 환경에 대한 정보를 얻기 위해 감시 카메라나 차량용 카메라 등이 널리 활용되고 있다. 위와 같은 카메라 시스템은 그 특성상 대부분 실외 환경에 설치되어 있다. 그런데 실외 환경에서 획득되는 영상은 안개, 연기나 먼지 등과 같이 대기 중에 존재하는 물질들로 인하여 품질이 열화될 수 있다. 특히, 영상 내 물체의 색상이나 움직임에 바탕으로 객체를 검출하고 추적하는 컴퓨터 비전 등의 분야가 응용된 영상 처리 시스템의 경우, 안개 등으로 인한 영상의 품질 열화가 치명적인 결함을 유발할 수 있으므로 신호 처리를 통해 영상 품질을 개선하는 것이 필요하다.

대표적인 안개 제거 방법으로, **dark channel prior(DCP)**에 기반한 방법^[1]이 있다. DCP란, 안개가 없는 맑은 날에 촬영된 실외 영상에서 보이는 공통적인 특성으로, 영상 내에서 하늘을 제외한 영역에 속한 픽셀에 대하여, RGB 채널 공간상의 값 중 최소한 하나는 0에 가까운 값을 갖는다는 것을 말한다. DCP에 기반한 방법은 원본 영상만을 사용하여 대기 강도와 전달량을 추정하고, 이를 통해 복원 영상을 획득한다. 그런데 개략적으로 추정된 전달량을 바탕으로 획득한 복원 영상의 경우, 하늘과 같이 안개가 짙은 영역과 물체 영역이 만나는 경계에서 후광 현상(halo artifact)이 발생한다. 후광 현상이란, 추정된 전달량과 실제 전달량 사이의 오차로 인해 복원 영상에서 안개가 완전히 제거되지 못하고 남아있는 현상으로, 이로 인해 복원 영상의 품질이 열화된다.

복원 영상에서 보이는 후광 현상을 억제하기 위하여, 개략적으로 추정된 전달량을 추가적으로 정련하는 방법이 있

다. 전달량 정련 과정에 **soft matting** 기법을 도입하는 방법^[1]이 제안되었으나, 보정 절차가 복잡하여 고속의 안개 제거를 수행하기에는 제한이 따른다. 이를 개선하기 위해 상대적으로 복잡도가 낮은 유도 필터(guided filter)를 도입한 방법^[2]이 제안되었으며, 여러 연구들에서 활용되고 있다^[3-6]. 그러나 유도 필터를 도입한 방법 역시, 여전히 연산 복잡도가 높고 보정 이후에도 후광 현상이 완전히 억제되지 못하는 한계가 있다.

이에 따라, 최근 다크 채널 연산 이후에 추가적으로 전달량을 정련하는 방법 대신에 기존 다크 채널 연산 과정을 변형하여 전달량 정련 과정을 간소화하는 방법에 관한 연구들이 이뤄지고 있다^[7-8]. 다크 채널 연산 과정 중에 국부 영역에 최소값 필터를 적용한 이후에 경계가 소실되는 정도가 크므로, 최소값 필터 대신에 중간값 필터를 적용한 방법^[7]이 그 중 하나이다. 중간값 필터는 주어진 윈도우 내의 값들을 크기순으로 정렬한 후, 중앙값을 선택하기 때문에 임펄스성 잡음 제거에 우수한 동시에 경계를 보존하는 특징이 있다. 다른 방법으로는, 국부 영역 내에 필터링을 수행하기 이전에 경계선 검출하고, 이에 따라 경계보존 필터(edge-preserving filter)를 적용하거나 혹은 국부 영역 내의 각 픽셀 값의 가중치를 달리하여 평균값 필터를 적응적으로 적용하는 방법^[8] 등이 있다. 하지만 이러한 방법들은, 영상의 경계를 보존하기 위한 목적으로 윈도우의 크기를 작게 할 경우에 복원 영상의 밝기가 어두워지는 현상이 발생하므로, 이에 대한 추가적인 보정을 수행해야 하는 한계가 있다.

그밖에, 픽셀을 대상으로 하여 안개 제거를 수행하는 방법^[9]이 제안되기도 하였다. 이러한 방법은 각 픽셀을 대상으로 안개 제거를 수행하므로 영상 내의 경계 보존이 가능하고 수행 속도가 빠르다는 장점이 있지만, 후광 영역에 대한 정확한 예측이 어렵다는 한계가 있다.

본 논문은 후광 영역에 기반하여 서로 다른 윈도우 크기를 적용한 다크 채널을 결합하고, 이를 기반으로 한 고속 고품질의 안개 제거 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 윈도우 크기가 서로 다른 두 다크 채널의 차분 영상과 후광 영역이 상관 관계가 크다는 점을 바탕으로, 차분 영상으로부터 후광 영역을 예측한다. 예측 결과에 따라 두 개의 다크 채널을 결합하며, 이와 같은 이중 다크 채널을 바탕으로 전

a) 한국항공대학교 항공전자정보공학부(School of Electronics and Information Engineering, Korea Aerospace University)

b) 한국항공대학교 항공전자정보공학과(Department of Electronics and Information Engineering, Korea Aerospace University)

‡ Corresponding Author : 김태환(Tae-Hwan Kim)
E-mail: taehwan.kim.kr@gmail.com
Tel: +82-2-300-0140

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8336-3170>

* 본 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터(GRRC) 사업[GRRC항공-2015-B04]와 정부의 제원으로 한국연구재단(2013-12-004)의 지원을 받아 수행된 연구임.

· Manuscript received June 20, 2015; Revised September 14, 2015;
Accepted September 25, 2015.

달량을 추정한다. 이 과정에서, 영상의 경계 유무에 관한 조건을 고려함으로써 전달량에 포함된 오차를 감소시켜 추가적인 전달량 정련 과정 없이도 만족할 만한 품질의 복원 영상을 얻을 수 있다. 결과적으로, 후광 현상을 억제하여 복원 영상의 품질을 개선함과 동시에, 높은 연산 복잡도를 갖는 전달량 정련 과정을 생략하여 고속의 안개 제거를 수행할 수 있다.

본 논문의 나머지 구성은 다음과 같다. II장에서는 안개 제거 방법에 대한 배경 지식을 설명하기 위하여 안개 영상 모델링과 DCP 기반의 안개 제거 방법에 대해 설명한다. III장에서는 본 논문에서 제안하는 이중 다크 채널에 기반한 안개 제거 방법을 설명한다. IV장에서는 제안하는 방법과 기존 방법의 결과를 제시하고, 각 방법의 연구 결과를 비교 및 고찰한다. 마지막으로, V장에서는 본 논문의 결론을 제시한다.

II. 배경 지식

1. 안개 영상 모델링

안개가 있는 영상에서 안개를 제거하기 위한 신호 처리 과정을 위하여 일반적으로 다음과 같이 안개 영상을 모델링한다^[10-13].

$$I_c(\mathbf{x}) = J_c(\mathbf{x}) \cdot t(\mathbf{x}) + A_c \cdot (1 - t(\mathbf{x})) \quad (1)$$

여기서, $I_c(\mathbf{x})$ 와 $J_c(\mathbf{x})$ 는 각각 RGB 채널로 구성된 안개 낀 원본 영상 I 와 안개가 제거된 맑은 날의 영상 J 의 $c \in \{r, g, b\}$ 채널 중, 좌표 \mathbf{x} 에서의 픽셀 값을 나타낸다. A_c 는 RGB 채널에 대한 대기 강도 A (atmosphere light) 중 $c \in \{r, g, b\}$ 채널에서의 값을 의미하며 이때 A_c 는 c 채널에 대하여 영상 전체에서 균일한 값을 가진다고 가정한다. $t(\mathbf{x})$ 는 \mathbf{x} 를 중심으로 하는 국부 영역 $\Omega(\mathbf{x})$ 에서의 전달량 t (transmission)의 값을 뜻하며, 본 논문에서는 $t(\mathbf{x})$ 를 t 와 같은 형식으로 표기하기도 한다. 위의 모델링을 통한 일반적인 안개 제거 방법은 주어진 안개 영상 I 만을 사용하여 안개 강도 A 와 전달량 t 를 추정하고, 이를 바탕으로 안개가 제거된 영상 J 를 획득하는 것이다.

2. DCP 기반의 안개 제거 방법

대표적인 안개 제거 방법으로 DCP 기반의 방법이 있다. DCP란, 맑은 날에 촬영된 실외 영상에서 하늘을 제외한 영역에 속한 픽셀에 대하여, RGB 채널 공간상의 값 중 최소한 하나는 0에 가까운 값을 갖는다는 통계적 특성을 일컫는다^[1]. 그림 1(a)은 DCP 기반의 안개 제거 방법의 흐름을 보인 것으로, 일반적인 DCP 기반의 방법은 원본 영상 I 만을 바탕으로 대기 강도 A 와 전달량 t 를 추정하여 안개가 제거된 복원 영상 J 를 획득한다. 그런데, 개략적으로 추정된 전달량을 통해 획득한 복원 영상에서는 잔존하는 안개로 인한 후광 현상이 발생하므로, 이를 억제하기 위하여 추가적인 전달량 정련 과정이 수반된다.

다크 채널 연산(dark channel operation)은 DCP를 기반으로 아래와 같이 정의된다.

$$P^{dark}(\mathbf{x}) = \min_{c \in \{r, g, b\}} \left(\min_{y \in \Omega(\mathbf{x})} P_c(y) \right) \quad (2)$$

여기서 P^{dark} 을 P_c 의 다크 채널(dark channel)이라 하며, (2)에 따라 J_c 의 다크 채널 J^{dark} 나 I_c 의 다크 채널 I^{dark} 등도 구할 수 있다. 국부 영역 $\Omega(\mathbf{x})$ 내에서 전달량 t 는 일정하다고 가정하고 (1)에 다크 채널 연산을 수행하면, 안개가 없는 영상 J 에 대하여 $J^{dark}(\mathbf{x}) \approx 0$ 인 특성에 의해 $J_c(\mathbf{x}) \cdot t(\mathbf{x})$ 항이 소거된다. (1)의 다크 채널을 통하여 개략적으로 추정된 전달량을 $t'(\mathbf{x})$ 라 하면, $t'(\mathbf{x})$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$t'(\mathbf{x}) = 1 - \omega \cdot \min_{c \in \{r, g, b\}} \left(\min_{y \in \Omega(\mathbf{x})} \left(I_c(y) / A_c \right) \right) \quad (3)$$

여기서 상수 ω 는 복원 영상에서의 안개의 양을 선택적으로 유지하기 위한 것으로, 원근감을 보존하기 위해 도입되었다.

위와 같이 (3)를 바탕으로, 다크 채널을 바탕으로 추정된 전달량 t' 의 값을 구하기 위해서는 대기 강도 A 를 알아야 한다. 그러나 실제 대기 강도를 정확히 추정하는 것은 불가능하므로, 각각의 RGB 채널 공간상에서 각각의 A_c 값이 대체로 일정하다고 가정한 후, 다음과 같은 과정을 통해 개략적으로 추정한다. 먼저, 원본 영상에 대한 다크 채널

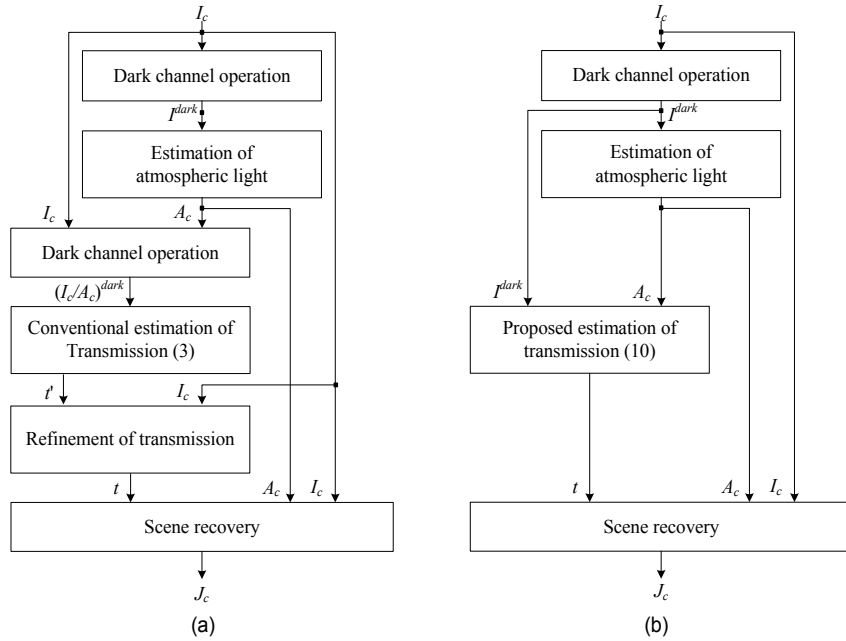


그림 1. 안개 제거 방법의 전체적 흐름 (a) 기존의 방법[2] (b) 제안하는 방법
 Fig. 1. Overall flow of the haze removal in (a) the conventional method [2] and (b) the proposed method

영상 I^{dark} 에서 상위 0.1%에 해당하는 픽셀들을 선정한 다음, 해당 픽셀들과 대응되는 위치에 놓인 원본 영상 I 의 픽셀들 중 가장 밝은 픽셀 값을 A 값으로 선택한다^[1]. 이와 같이 추정된 A 를 바탕으로, (3)를 통하여 전달량을 추정한다.

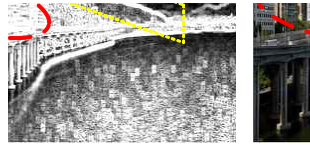
앞에서 언급한 것처럼, 개략적으로 추정된 전달량과 실제 전달량 사이에 오차가 있을 경우, 복원 영상에서 잔존하는 안개로 인한 후광 현상이 발생하여 영상의 품질이 열화된다. 따라서, soft matting 기법이나 유도 필터를 도입하여 개략적으로 추정된 전달량 t' 을 정련하는 과정을 추가적으로 수행하여 후광 현상을 억제할 수 있다^[1-2]. 전달량 정련 과정은 다크 채널 연산 이후에 영상의 경계가 소실되는 것을 개선하여, 보다 정교한 전달량 추정이 가능케 하여 후광 현상을 억제한다. 최종적으로 정련된 전달량 t 를 통해 아래와 같이 J 를 획득한다.

$$J_c(x) = A_c - (A_c - I_c(x)) / \max(t(x), t_0) \quad (4)$$

여기서, t_0 는 전달량 t 의 하한 값으로, 본 논문에서는 0.1로 설정한다.

III. 제안하는 방법

DCP를 기반으로 한 기존의 안개 제거 방법은 개략적으로 추정된 전달량과 실제 전달량 사이의 차이로 인해 후광 현상이 발생하는 문제가 있다. 후광 현상은 추정된 전달량에 내포된 오차에서 기인한 것으로, 특히 다크 채널 연산 중 윈도우 내에 경계가 포함될 경우에 오차가 커지는 경향이 있다. 그 이유는, 다크 채널을 구하기 위하여 국부 영역에 대한 최소값 필터링을 수행하면, 최소값 필터의 특성에 의해 영상 내 물체나 영역의 경계가 소실되거나 왜곡된다. 이때, 최소값 필터에 적용한 윈도우 크기에 따라 다크 채널 영상에서 블록 현상이 발생하며, 윈도우의 크기가 클수록 그 정도가 심해진다. 블록 현상이 발생한 다크 채널 영상을 바탕으로 전달량을 추정할 경우, 물체나 영역에 관한 경계



(a) (b) (c)

그림 2. 다크 채널의 차분 영상과 후광 영역의 관계 (a) 차분 영상, 기존 방법[2]에서 (b) 전달량 정련을 생략한 복원 영상, (c) 전달량 정련을 수행한 복원 영상

Fig. 2. Relation between the difference image and the halo region (a) the difference image, in the conventional method [2], (b) the recovered image without the transmission refinement, and (c) the recovered image with the transmission refinement

의 소실 또는 왜곡으로 인해 영상의 원근이 왜곡된다. 이에 따라, 영상의 원근을 바탕으로 추정되는 전달량에도 오차가 발생하게 된다. 이러한 이유로, 경계를 포함하는 영역이나 물체 주변에서 특히 전달량 추정에 어려움이 따르며, 결과적으로 후광현상이 두드러진다.

앞의 설명에 근거하여, 다크 채널 연산 과정 중의 최소값 필터링으로 인한 블록 현상을 줄이기 위하여 윈도우 크기를 작게 하는 방법을 생각할 수 있을 것이다. 작은 윈도우 크기를 적용하여 국부 영역에 대한 최소값 필터링을 수행할 경우, 윈도우 크기가 작을수록 경계 정보가 잘 보존되고 블록 현상이 감소할 것이다. 이에 따라, 경계가 잘 보존된 다크 채널 영상을 바탕으로 보다 정확한 전달량을 추정할 수 있게 되므로, 복원 영상에서 후광 현상이 억제됨을 기대할 수 있다. 하지만 작은 윈도우 크기를 적용하여 최소값 필터링을 수행할 경우, 영상의 경계는 잘 보존될 수는 있으나, 윈도우의 크기가 큰 경우에 비해 최소값 필터링의 결과값이 대체적으로 증가한다. 따라서, 다크 채널의 값이 증가하면 (3)에 의해 추정된 전달량 t 가 감소하고, 연쇄적으로 (4)에 의해 J 가 감소하게 된다. J 의 감소는 복원 영상

내 픽셀 값들의 감소를 의미하므로, 결과적으로 윈도우 크기의 감소는 곧 영상의 밝기가 감소하는 현상을 유발한다.

따라서, 위와 같은 방법 대신에 soft matting 기법이나 유도 필터 등을 도입하여 추가적인 전달량 정련을 수행하는 방법이 일반적이다^[1-2]. 하지만, 앞 절에서 언급한 것과 같이, DCP 기반의 방법은 전달량 정련을 수행하더라도 복원 영상에서 여전히 후광 현상이 남아 있는 문제점이 있다. 그림 2(c)는 전달량 정련을 수행한 복원 영상으로, 전달량 정련을 생략한 복원 영상인 (b)에 비해 후광 현상이 현저히 감소하였으나 여전히 (c)의 가는 점선으로 표시한 영역 등에서 후광 현상이 관찰되고 있다. 이와 같이 기존의 안개 제거 방법은 후광 현상을 완전히 억제하지 못할 뿐만 아니라 높은 연산 복잡도를 갖는 전달량 정련 과정을 수반하므로, 고속의 안개 제거를 수행하기에 어려움이 따른다. 이에, 본 논문에서는 추가적인 전달량 정련을 수행하지 않고도 효과적으로 후광 현상을 억제하는 방법을 제안한다.

본 논문에서는 다크 채널 연산과정에서 윈도우 크기에 따라 복원 영상에서 후광 현상이 나타나는 정도가 달라지는 점에 착안하여, 두 개의 윈도우 크기를 적용한 다크 채널

의 차분 영상을 바탕으로 후광 현상을 예측한다. 구체적으로, 후광 현상이 예측되는, 다시 말해, 영상 내에 경계가 포함된 영역에 대하여 큰 윈도우 크기를 적용하여 최소값 필터링을 수행할 경우, 필터링의 수행 결과가 본래의 픽셀값과 크게 달라질 수 있다. 반면, 작은 윈도우 크기를 적용할 경우에는 최소값 필터링 이후에도 본래의 픽셀값이 대체로 유지될 것으로 기대할 수 있다. 따라서, 필터링 전후의 픽셀값이 차이가 크다면, 전달량 추정 과정에서 원근이 왜곡됨으로 인해 제거되어야 할 안개의 양이 잘못 추정되어 후광 현상이 발생할 것으로 예측할 수 있다. 실제로, 그림 3을 통해 다크 채널의 차분 영상과 후광 영역이 밀접한 관계에 있음을 확인할 수 있다. 후광 현상이 발생할 영역에 대한 예측을 바탕으로, 두 개의 다크 채널을 결합하고 이를 통하여 전달량을 추정한다. 제안하는 방법에 의해 추정된 전달량은, 추가적인 정련 과정을 수행하지 않고도 효과적으로 고품질의 복원 영상을 획득할 수 있다.

다음은 제안하는 방법에 의해 전달량을 추정하는 절차이다. 전달량 추정을 위해 다크 채널 연산을 먼저 수행하는데, 이때 최소값 필터링 이후, 원본 영상의 경계가 소실된다. 영상 내 경계의 소실은 전달량 추정에 오차를 유발하여 후광 현상을 발생시키므로, 이를 억제하기 위하여 차분 영상을 바탕으로 후광 현상이 발생할 가능성이 있는 영역을 예측한다.

$$D'(\mathbf{x}) = I_{w=1}^{dark}(\mathbf{x}) - I_{w=15}^{dark}(\mathbf{x}) \quad (5)$$

여기서 w 는 \mathbf{x} 를 중심으로 하는 정방형 윈도우의 폭을 뜻한다. 한편, 차분 영상 D' 은 0-255 사이의 임의의 픽셀값을 가질 수 있지만, 위에서 설명한 것과 같이 최소값 필터링 전후의 차이가 비교적 크게 나타나는 부분, 즉, 일정 임계값(α)보다 큰 픽셀 값을 갖는 부분에서 후광 현상이 발생한다고 예측할 수 있다. 이를 아래와 같은 조건을 아래와 같이 나타낼 수 있다. 본 논문에서는 실험적 결과를 바탕으로 α 를 40으로 설정하며, 그림 3에 따른 복원 영상에서 나타나는 후광 현상의 정도를 보였다.

$$D(\mathbf{x}) = \min(D'(\mathbf{x})/\alpha, 1) \quad (6)$$

하지만 차분 영상에서 밝은 영역일지라도 반드시 후광 현상이 발생하는 것은 아니며, 원본 영상에서 윤곽선 정보를 많이 포함하고 있는 영역 등이 그러하다. 실제로, 그림 2에서 보는 것과 같이, (b)와 (c)에서 굵은 점선으로 표시된 영역에서는 후광 현상이 발생하지 않음에도 불구하고 D 의 값이 크게 나타는 것을 (a)를 통해 확인할 수 있다. 따라서 차분 영상 D 의 값이 크게 나타날 경우, 실제로 안개가 있는 부분에서 후광 현상이 예측되는 것인지 혹은 윤곽선 정보를 많이 포함하는 등의 다른 이유 때문인지 판단하기 위

$\alpha : 255$ **$\alpha : 150$** **$\alpha : 100$** **$\alpha : 40$**
 (a) (b) (c) (d)

그림 3. α 에 따른 후광 현상: α 가 각각 (a) 255, (b) 150, (c) 100, (d) 40인 경우에 대한 복원 영상
 Fig. 3. Halo effect according to the value of α . the recovered images in each case α is (a) 255, (b) 150, (c) 100 and (d) 40, respectively

하여 추가적으로 *haze*라는 조건을 도입하여 후광 현상의 발생 여부를 예측한다.

$$haze(\mathbf{x}) = \left(\max_{c \in \{r, g, b\}} I_c(\mathbf{x}) - \min_{c \in \{r, g, b\}} I_c(\mathbf{x}) \right) < d ? 1 : 0 \quad (7)$$

haze 조건은 실제 안개 영역인지를 판단하기 위한 조건으로, 실제 안개 영역은 백색에 가까우므로 RGB 채널의 모든 값이 대체로 비슷한 값을 가질 것이라고 예상할 수 있다. 따라서, 최대값과 최소값의 차가 일정 임계값(*d*)보다 크지 않을 경우, 안개 영역이라고 판단하여 *haze* 조건이 1의 값을, 그렇지 않을 경우에는 안개 영역이 아니라고 판단하여 해당 조건이 0의 값을 갖는다. 이와 같이, 차분 영상 *D*의 값과 영상 정보의 특성을 고려한 *haze* 조건을 모두 고려하여 최종적으로 후광 현상이 발생하는 부분을 예측할 수 있다. 본 논문에서는 앞의 두 조건을 모두 고려한 *halo*라는 조건을 도입하고, (6)와 (7)를 통해 아래와 같이 쓸 수

있다.

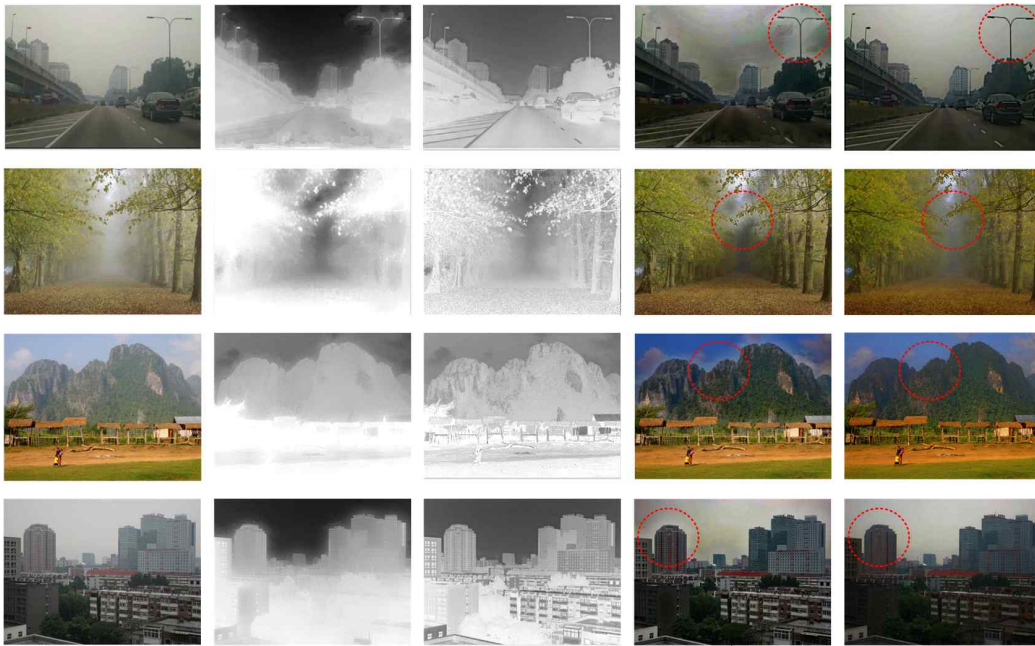
$$halo(\mathbf{x}) = D(\mathbf{x}) \cdot haze(\mathbf{x}) \quad (8)$$

위와 같이, (8)의 결과로 얻은 *halo* 조건을 바탕으로, 윈도우 크기가 1×1 또는 15×15인 다크 채널을 결합하여 아래와 같이 제안하는 다크 채널을 얻을 수 있다.

$$I_h^{dark}(\mathbf{x}) = halo(\mathbf{x}) \cdot I_{w=1}^{dark}(\mathbf{x}) + (1 - halo(\mathbf{x})) \cdot I_{w=15}^{dark}(\mathbf{x}) \quad (9)$$

제안하는 다크 채널은 후광 현상이 예측되는 영역에 대하여는 작은 크기의 윈도우를 적용하여 경계의 소실 또는 왜곡을 최소화 하고, 그 밖의 영역에 대하여는 상대적으로 큰 크기의 윈도우를 적용하여 얻을 수 있다.

한편, 제안하는 방법에서는 기존의 전달량 추정식(3)을 아래와 같이 수정한다.



(a) (b) (c) (d) (e)

그림 4. 기존의 방법[2]과 제안하는 방법의 비교 (a) 원본 영상, (b) 기존 방법에 의한 전달량 *t*, (c) 제안하는 방법에 의한 전달량 *t*, (d) 기존 *t* 기반의 복원 영상, (e) 제안하는 *t* 기반의 복원 영상

Fig. 4. Comparison of the conventional method [2] and the proposed method: (a) input hazy image, (b) transmission *t* estimated by the conventional method, (c) transmission *t* estimated by the proposed method, (d) dehazed result by the conventional method, and (e) dehazed result by the proposed method

$$\begin{aligned}
 t(\mathbf{x}) &= 1 - \omega \cdot \min_{c \in \{r, g, b\}} \left(\min_{y \in \Omega(\mathbf{x})} I_c(\mathbf{y}) \right) / \max_{c \in \{r, g, b\}} A_c \\
 &= 1 - \omega \cdot \left(I_h^{dark} / \max_{c \in \{r, g, b\}} A_c \right)
 \end{aligned} \quad (10)$$

기존의 전달량 추정식(3)은 최초의 다크 채널 연산 이후, 원본 영상 I_c 를 대기 강도 A_c 로 나눈 값에 대하여 다크 채널 연산을 수행한다. 반면에, 제안하는 전달량 추정식 (10)은 다크 채널 연산의 입력인자를 분리하여 원본 영상의 다크 채널 영상 I_h^{dark} 을 추정된 대기 강도의 최대값으로 나눈다. 위의 설명과 같이, 제안하는 전달량 추정식(10)을 통해 전달량을 계산할 경우, 두 다크 채널의 차분 영상을 구하기 위한 선행 과정의 결과를 재사용할 수 있게 되어 추가적인 다크 채널 연산 수행을 생략할 수 있다. 그 결과, 기존의 전달량 추정식(3)을 통해 전달량을 추정할 때에 비하여 보정 절차가 간단해 진다. 위에서, (10)과 같은 식의 변형은 A_c 의 최소값과 최대값이 차가 크지 않을 것이라고 가정을 통해 가능하다. 이와 같이 가정할 수 있는 이유는, 후광 영역은 짙은 안개로 인하여 백색에 가까우므로, 모든 RGB 채널 공간상에서 대체로 균등한 값을 가질 것이라 예상할 수 있기 때문이다.

위에 소개된 안개 제거 흐름에 따라, 원본 영상을 바탕으로 추정된 대기 강도와 전달량을 통해 안개가 제거된 영상을 획득할 수 있다. 그림 1(b)는 제안하는 방법의 흐름을 보인 것으로, (a)에 보인 기존의 방법^[2] 대비, 전달량 정련 과정을 생략하고 더불어 (10)를 통해 다크 채널 연산의 수행 횟수를 효과적으로 줄인 것을 확인할 수 있다.

IV. 실험 결과 및 고찰

본 장에서는 III장에서 제안한 이중 다크 채널 연산 방법과 기존의 방법^[2]을 비교하여 본 연구의 우수성을 보인다. 그림 4(b)와 (c)는 각각 기존의 방법과 제안하는 방법^[2]에 의해 추정된 전달량 t 를 보인 것이며, (d)와 (e)는 각각 (b)와 (c)를 바탕으로 안개 제거를 수행한 영상이다. 기존의 방법에 의한 복원 영상 (d)에서는 안개가 짙은 하늘 영역과 물체 영역이 만나는 경계에서 후광 현상이 나타나는 반면, 제안

하는 방법에 의한 복원 영상 (e)에서는 후광 현상이 현저히 줄어든 것을 볼 수 있다. 또한, 제안하는 방법에서는 두 개의 다크 채널을 활용해야 하므로, 기존의 방법 대비 추가적인 다크 채널 연산이 필요하기는 하나, 전체 안개 제거 수행 시간에서 상대적으로 지배적인 비중을 차지하는 복잡한 전달량 정련 과정을 생략하여 안개 제거를 수행하기 위한 전체 소요 시간 역시 상당히 줄일 수 있다. 표 1은 기존의 방법과 제안하는 방법의 소요 시간을 비교하기 위한 것으로, 각각의 방법을 소프트웨어로 구현하여 3.4 GHz Intel Core i5-4870 프로세서를 갖춘 PC 환경에서 실험한 결과이다. 기존의 방법과 대비하여 제안하는 방법은 최대 약 14.2배의 속도 향상을 달성하였으며, 특히 640×480 의 해상도를 갖는 영상에 대하여 실시간 동작이 가능함을 확인할 수 있다.

표 1. 소요시간 비교(단위 : 초)

Table 1. Comparison of the execution time (seconds)

Image resolution	640 × 480	1280 × 720	1920 × 1080
Conventional method in [2]	0.355	0.526	0.888
Proposed method	0.025	0.079	0.174

V. 결론

본 논문에서는 서로 다른 윈도우 크기를 적용한 두 다크 채널을 결합하여 이를 기반으로 한 안개 제거 방법을 제안한다. DCP 기반의 기존 방법은 복잡도가 높은 전달량 정련 과정을 추가적으로 수반하기 때문에, 고속의 안개 제거를 수행하기 어려우며 복원 영상에서도 후광 현상을 완전히 억제하지 못하는 한계가 있다. 반면에, 제안하는 방법은 두 다크 채널의 차분 영상을 바탕으로 후광 영역을 예측하고, 이에 따라 두 다크 채널을 결합한다. 이중 다크 채널을 통하여 효과적으로 전달량 추정이 가능함에 따라, 추가적인 전달량 정련 과정을 생략하면서 동시에 만족할 만한 복원 영상의 품질을 획득할 수 있다. 그 결과, 640×480 크기의 영상을 기준으로 할 때, 기존의 방법과 대비하여 복원 영상의 품질을 향상시키면서도 14.2배의 속도 향상을 달성하였다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] K. He, J. Sun, and X. Tang, Single image haze removal using dark channel prior, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 33, no. 12, pp. 2341-2353, Dec. 2011.
- [2] K. He, J. Sun, and X. Tang, Guided image filtering, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 35, no. 6, pp. 1397-1409, Jun. 2013.
- [3] S. C. Pei, and T. Y. Lee, Effective image haze removal using dark channel prior and post-processing, IEEE International Symposium on Circuit and Systems, pp. 2777-2780, May. 2012.
- [4] R. He, Z. Wang, Y. Fan and D. D. Feng, Multiple scattering model based single image dehazing, IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, pp. 733-737, Jun. 2013.
- [5] S. C. Pei, and T. Y. Lee, Nighttime haze removal using color transfer pre-processing and dark channel prior, IEEE International Conference on Image Processing, pp. 957-960, Oct. 2012.
- [6] R. Gao, X. Fan, J. Zhang and Z. Luo, Haze filtering with aerial perspective, IEEE International Conference on Image Processing, pp. 989-992, Sept. 2012.
- [7] Gibson, Kristofor B., Dung T. Vo, and Truong Q. Nguyen, An investigation of dehazing effects on image and video coding, IEEE Transactions on Image processing, vol. 21, no. 2, pp. 662-673, Sept. 2012.
- [8] Y. H. Shiau, H. Y. Hung, P. Y. Chen and Y. Z. Chuang, Hardware implementation of a fast and efficient haze removal method, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 23, no.8, pp. 1369-1374, Aug. 2013.
- [9] C. O. Ancuti, C. Ancuti, C. Hermans, and P. Bekaert, A Fast Semi-Inverse Approach to Detect and Remove the Haze from a Single Image, Asian Conference on Computer Vision, pp. 501-514, 2011.
- [10] R. Fattal, Single image dehazing, ACM Transactions on Graphics, vol. 27, no.3, pp. 72, Aug. 2008.
- [11] S. G. Narasimhan and S. K. Nayar, Chromatic framework for vision in bad weather, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 598-605, 2000.
- [12] S. G. Narasimhan and S. K. Nayar, Vision and the atmosphere, International Journal of Computer Vision, vol. 48, no.3, pp. 233-254, Aug. 2002.
- [13] R. Tan, Visibility in bad weather from a single image, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1-8, Jun. 2008.

저 자 소 개



문 선 아

- 2015년 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자정보공학부 재학 중
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-1925-6471>
- 주관심분야 : 회로 및 시스템, VLSI 설계, ASIC 설계



김 원 태

- 2013년 : 한국항공대학교 정보통신공학과 학사 졸업
- 2014년 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자정보공학부 석사과정 재학 중
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-9547-3868>
- 주관심분야 : 회로 및 시스템, VLSI 설계, ASIC 설계



김 태 환

- 2005년 : 연세대학교 전기전자공학과 학사 졸업
- 2007년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업
- 2010년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사 졸업
- 2011년 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자정보공학부 교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0001-8336-3170>
- 주관심분야 : 회로 및 시스템, VLSI 설계, ASIC 설계