

일반논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제22권 제3호, 2017년 5월 (JBE Vol. 22, No. 3, May 2017)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2017.22.3.375>

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

Local Contrast와 빛 전달량 기반 Single Image의 안개 정도 측정 방법

이 근 민^{a)}, 김 원 하^{a)†}

Local contrast and Transmission Based Fog Degree Measurement in Single Image

Geun-min Lee^{a)†}, and Wonha Kim^{a)†}

요 약

본 논문은 single image에서 측정된 빛 전달량 값과 local contrast 값을 사용하여 안개 정도를 수치화하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 빛 전달량 값을 사용하여 안개로 예측되는 지역을 추정하고, 추정된 안개 예측 지역의 넓이와 해당 지역의 local contrast 크기의 범위를 사용하여 안개 정도를 수치화 한다. single image에서 측정 가능한 안개 의 물리적 특성들을 고려하였기 때문에 기존의 안개 검출 알고리즘들이 구분하지 못했던 영상들에서도 안개 정도를 정확하게 측정하였다. 실제 빛의 산란 정도를 측정하는 감광 계수 측정계를 사용하여 측정된 안개 정도와 제안하는 방법의 수치를 비교했을 때, 다양한 환경과 물체를 포함한 영상들에서 95%이상의 정확도로 안개 정도를 수치화 하였다. 또한 빛 전달량 추정 과정에서 local contrast 값을 추출하여 사용하기 때문에 기존의 빛 전달량을 측정하는 방법에서 복잡도를 거의 증가시키지 않는다.

Abstract

This paper has proposed a single image based fog degree quantification method by measuring both transmission and local contrast. The proposed method estimates the foggy expected regions from transmission, and then assesses the size of regions of which transmission values are foggy expected ones and the range of local contrast value on such regions. Compared with fog degree gauged by the scattering coefficient measurement sensor, the proposed method quantifies the fog degree with more than 95% accuracy for images containing various objects and environments. We also developed a technique that measures the local contrast values in process of measuring transmission values. So, the proposed method does not increase complexity compared to the existing transmission method.

Keyword : local contrast, transmission, dehazing, fog detection

a) 경희대학교 전자정보대학(Kyung Hee University, Electronic Engineering Building)

† Corresponding Author : 김원하(Wonha Kim)

E-mail: wonha@khu.ac.kr

Tel: +82-31-201-2030

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4797-3526>

※ 본연구는 산업통상자원부의 재원으로 수행되었음(10067205).

· Manuscript received January 11, 2017; Revised February 28, 2017; Accepted March 13, 2017.

Copyright © 2017 Korean Institute of Broadcast and Media Engineers. All rights reserved.

“This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and not altered.”

I. 서론

안개 제거 알고리즘 또는 도로 감시 카메라와 같은 영상 기반 안개 시스템이 적절히 작동하기 위해서 영상의 안개 정도에 대한 사전 정보가 필수적이다. 영상의 안개 현상은 대기의 빛에 의해 물체의 색상이 희석될 때 발생되므로 영상의 안개 지역에서는 물체의 색상이 대기와 유사해지고, 대기의 색상과 유사한 지역에 속한 물체들의 local contrast도 줄어든다.

안개가 local contrast를 감소시키는 특성을 이용하여 가시거리를 측정하여 직접적인 안개 정도를 측정하는 방법으로 도로 환경에서 지평선 및 소실점의 선명도와 위치 변화를 측정하는 방법이 있다^[1,2,3]. 하지만 이 방법은 물체들과 대기와의 유사도를 고려하지 않기 때문에 안개로 인한 local contrast 변화 정도를 측정할 지역을 영상마다 적응적으로 선택하지 못한다. 그래서 고속도로 또는 개활지의 지평선과 소실점 같은 안개로 인한 local contrast 감소가 뚜렷이 발생하는 지역이 분명한 특정 환경에서만 적용이 가능하다.

특정한 환경 및 조건이 아닌 다양한 상황에서 안개 정도를 측정하는 방법으로는 영상의 화소들과 대기와의 유사성으로 영상 화소들의 안개 정도를 측정하는 방법이 있다^[4,5,6]. 하지만 이 방법은 환경에 제한이 없다는 장점이 있지만 화소와 대기와의 유사성만을 고려하기 때문에 대기의 색상과 유사한 색상을 가진 물체를 많이 존재하는 안개가 없는 영상들에서 안개 정도를 오인할 수 있다. 그래서 안개 정도를 보다 정확히 측정하기 위해서 실제 안개의 물리적 특성을 고려하여 대기와 화소의 색상 유사도와 local contrast 둘 다 고려해야 한다.

본 논문은 화소와 대기의 색상 유사도와 local contrast를 동시에 고려하여 단일 영상에서 안개 정도를 수치화한다. dark channel prior(DCP) 방법이 대기의 색상과 화소의 색상을 사용하여 빛 전달량을 결정하므로, 화소와 대기의 색상 유사도를 DCP 기반 빛 전달량을 채택하여 측정한다. 또한 알고리즘의 복잡도와 처리 속도를 고려하였을 때 DCP 기반 빛 전달량 추정 과정에서 local contrast를 측정하는 방법을 개발하였다. 제안하는 방법은 DCP 기반 빛 전달량을 사용하여 안개로 예측되는 지역을 추정하고 해당 지역

의 넓이와 local contrast 정도를 측정한다.

다양한 상황에서 제안하는 방법으로 수치화된 안개 정도와 안개 측정 센서로 측정된 실측 안개 정도를 비교했을 때, 수치화된 값들의 순서가 실측 안개 정도의 순서와 95% 일치하였다. 또한 DCP를 사용하여 영상의 빛 전달량을 측정하는 시간과 제안하는 방법으로 안개 정도를 수치화하는 시간이 거의 일치하였기 때문에, 제안하는 방법은 기존의 방법들에 비해 복잡도 증가 없이 안개 정도를 정확하게 수치화할 수 있다.

II. 안개량 측정 방법

1. 빛 전달량과 local contrast 측정 방법

일반적으로 영상에서 (x,y) 에 위치한 화소에서 안개 모델은 아래와 같다^[1,2,3,4,5,6].

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

$\vec{I}(x,y)$ 는 영상에서 관찰되는 색상 채널 값 벡터이고 $\vec{J}(x,y)$ 는 안개에 영향을 받지 않은 색상 채널 값 벡터이다. \vec{A} 는 대기에 해당하는 화소의 색상 채널 값의 벡터이며 $t(x,y)$ 는 화소에서의 물체에 반사된 빛이 관찰자에게 도달하는 빛 전달량이다. $t(x,y) \times \vec{J}(x,y)$ 는 안개에 영향을 받지 않고 전달된 물체의 고유 색상 정도이며 직접 감쇠량(Direct Attenuation)이라 한다. 그리고 $(1-t(x,y)) \times \vec{A}$ 는 물체 고유 색상 대신 전달된 대기의 빛의 양(Airlight)이다.

식(1)의 안개 모델로부터 DCP는 \vec{A} 와 $\vec{I}(x,y)$ 간의 유사성을 사용하여 빛 전달량 $t(x,y)$ 를 아래와 같이 추정한다^[4].

$$\begin{aligned} t(x,y) &= 1 - \min_{(u,v) \in \Omega(x,y)} \min_{c \in R,G,B} \frac{I^c(u,v)}{A^c} \\ &= 1 - \min_{(u,v) \in \Omega(x,y)} I_m(u,v) \end{aligned} \quad (2)$$

$\Omega(x,y)$ 는 중심이 (x,y) 인 $N \times N$ 사각형 형태의 화소들의 집합(patch)이고 $I_m(u,v)$ 는 (u,v) 에서 대기 값으로 정규화

된 R,G,B의 최소 값이다.

본 논문은 DCP의 빛 전달량을 측정하는 동안 local contrast 정도를 측정하기 위해 식(2)를 아래와 같이 변형하여 local contrast 정보를 추출한다.

$$\begin{aligned} t(x,y) &= 1 - \min_{(u,v) \in \Omega(x,y)} I_m(u,v) \\ &= 1 - I_m(x,y) + I_m(x,y) - \min_{(u,v) \in \Omega(x,y)} I_m(u,v) \quad (3) \\ &= 1 - I_m(x,y) + \max_{(u,v) \in \Omega(x,y)} \{I_m(x,y) - I_m(u,v)\} \\ &\equiv 1 - I_m(x,y) + \Delta(x,y) \end{aligned}$$

$\Delta(x,y)$ 는 patch 내의 최소 색상 값과 (x,y)에서의 최소 색상 값의 차이이며 (x,y)에서 patch 내의 최대 색상 값 변화와 같다. 그러므로 $\Delta(x,y)$ 는 중심이 (x,y)인 patch의 local contrast를 나타낸다. 제안하는 방법은 DCP 기반 빛 전달량 추정 과정에서 local contrast를 추출하여 사용하므로 추가적인 복잡도를 야기하지 않는다.

2. 빛 전달량과 local contrast를 사용한 안개량 측정

그림 1은 흰색 건물을 포함한 안개 영상과 비(非)안개 영상의 DCP 기반 빛 전달량 영상(map)이다. 그림의 안개 영상과 비 안개 영상의 평균 빛 전달량 값은 각각 0.57과 0.62로 측정된다. 비 안개 영상의 평균 빛 전달량 값이 안개 영상의 것보다 크게 나오는데, 이는 비 안개 영상이 더욱 안개로 판단됨을 가리킨다. DCP가 물체의 color와 대기의 color의 유사성으로부터 빛 전달량을 추정한다는 것을 고려했을 때, 이러한 안개 정도와 영상의 비 일치성은 DCP가 흰 건물과 대기의 color를 구분하지 못하기 때문에 발생한다. 그

러므로 빛 전달량 만을 사용하는 안개 정도 측정 방법은 실제 안개 정도와 부합하지 않는다. 안개 영상은 대기의 빛에 의해 화소의 색상이 희석됨에 따라 화소의 색상과 대기의 색상이 유사해질 뿐만 아니라 대기과 유사한 색상을 가진 화소 주위의 local contrast도 줄어든다. 그래서 짙은 안개가 발생할수록 대기과 유사한 지역의 면적이 넓어지고 대기과 유사한 지역에서 local contrast가 낮아지게 된다. 이러한 관찰을 바탕으로 우리는 안개로 예측되는 지역의 면적 크기와 그 지역의 local contrast 정도들을 측정함으로써 안개 양을 수치화 한다.

본 논문은 DCP의 빛 전달량으로부터 안개로 예측되는 지역을 선택하는 방법을 제안한다. 안개로 예측되는 지역에서는 식(1)의 안개 모델에 따라 Airlight가 Direct attenuation보다 커야 한다. 24 비트 RGB 영상에서 $|\vec{A}|$ 의 최대 값은 255이므로 안개로 예측되는 지역을 만족하는 빛 전달량 범위는 아래의 식이 된다.

$$t < \frac{|\vec{A}|}{|\vec{A}| + 255} \quad (4)$$

위의 범위에 속하는 범위를 FTR(Foggy Transmission Range)라 하고 FTR에 속하는 빛 전달량을 가진 화소를 가진 지역을 FTR 지역이라고 부른다.

안개로 예측되는 지역의 local contrast를 측정하기 위해 본 논문은 빛 전달량 t를 가진 화소들에서 측정한 local contrast 값들의 분포를 분석한다. local contrast 값은 식(3)의 Δ 값을 사용한다. 그림(2).b는 t와 Δ 를 10^{-3} 의 간격으로 분할(discretize) 하였을 때의 (t, Δ) 평면에서의 화소들의 분포이다. 이때, 안개와 비안개 영상의 화소 분포들은 모두 작은 Δ 값에 밀집해 있으므로 평균이나 분산과 같은 화소

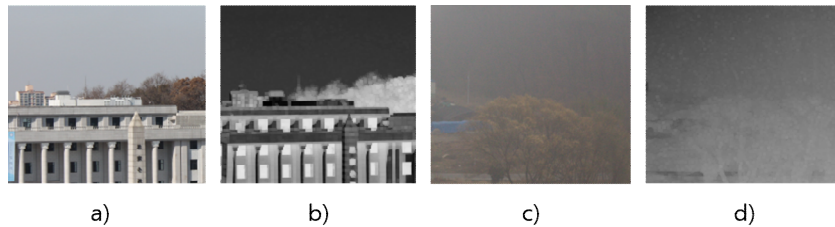


그림 1. 안개와 비안개 영상과 각 영상의 빛 전달량 map
Figure 1. Foggy and non-foggy images and their transmission maps

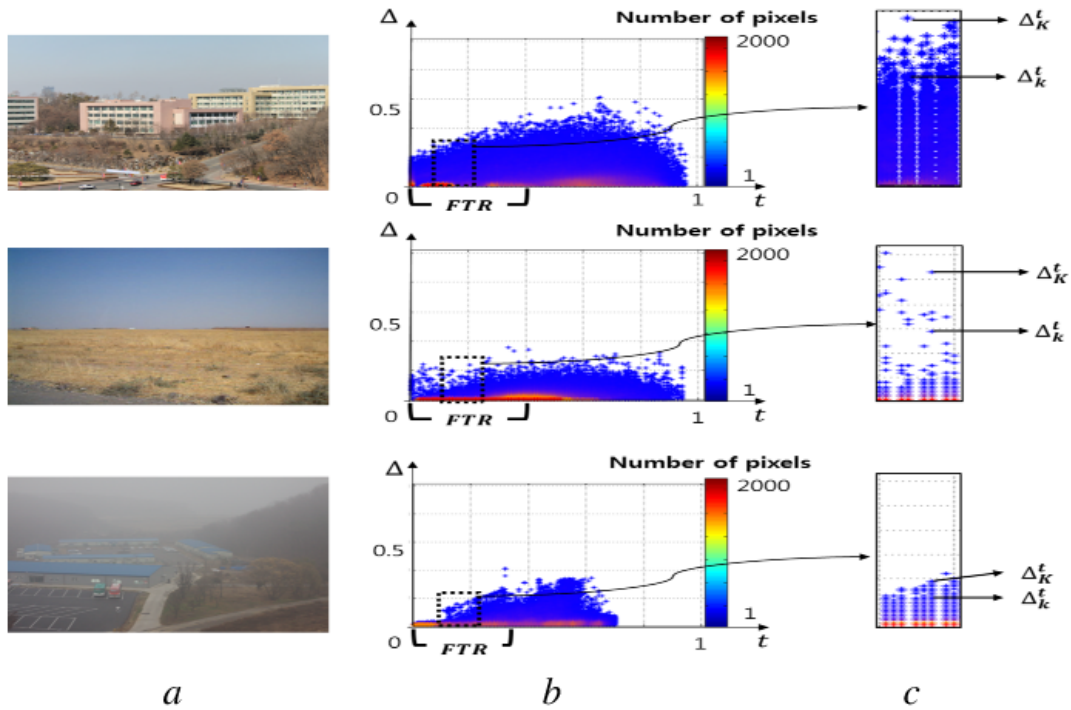


그림 2. (t, Δ) 평면의 화소들의 분포와 t 에 위치한 Δ 의 최대 값 Δ_K^t 화소들의 분포
 Fig. 2. Distributions of pixels over (t, Δ) and distribution of maximum Δ at each transmission

의 통계값은 안개와 비안개 영상의 local contrast 정도를 구분하지 못한다. 예를 들어, 그림(2)의 개활지 영상과 안개 영상에서 Δ 의 평균은 각각 0.014와 0.015로 거의 차이가 없다. 반면에, 비록 큰 Δ 값을 가진 화소가 많지는 않지만, 매우 큰 Δ 값이 비안개 영상에서는 발생하기 때문에 t 에서 발생하는 Δ 값의 범위는 평균 Δ 에 비해 안개와 비안개 영상의 local contrast 정도를 더욱 구분할 수 있다. 그림(2-c)는 각 t 에서 발생하는 Δ 값들의 분포를 보여준다. 빛 전달량 t 를 가진 Δ 중 k 번째 값을 Δ_k^t 라 하고 t 에서 발생하는 Δ 의 최대 값을 $K = \operatorname{argmax}_k \Delta_k^t$ 라 할 때 Δ_K^t 라 한다. Δ_K^t 는 각각의 t 에서 발생하는 가장 큰 Δ 이므로 각 t 의 local contrast 범위이다. 그림(2-c)에서 볼 수 있듯이 Δ 의 평균이 비슷하더라도 안개가 없는 영상보다 안개가 있는 영상에서 Δ_K^t 가 낮다는 것을 알 수 있다. 이러한 관찰을 바탕으로 본 논문은 FTR에서의 안개로 예측되는 지역에서의 local contrast 정도를 아래와 같이 FTR에서의 평

균 Δ_K^t 로 측정한다.

$$\hat{\Delta} = \frac{\sum_{t=0}^{FTR} \Delta_K^t}{FTR} \quad (5)$$

FTR은 식(4)의 범위이다. 그림(2)의 개활지와 안개 영상에서 $\hat{\Delta}$ 는 0.18과 0.13으로 측정되며, $\hat{\Delta}$ 가 local contrast 정도를 Δ 의 평균보다 더욱 잘 나타낸다.

더 강한 안개 영상에서 FTR 지역은 더 넓어지고 FTR 지역의 local contrast는 낮아지므로 안개 정도는 FTR 지역의 비율에 비례하고 FTR 지역의 평균 local contrast 범위에 반비례한다. 또한 local contrast 값은 그 지역의 크기에 관계없이 안개 정도에 따라 변하기 때문에 FTR 지역의 크기와 local contrast 범위의 평균은 각각 독립적이므로 본 논문은 안개 정도(Degree of Fog)를 아래와 같이 FTR 지역의 면적 비율과 FTR 지역의 평균 local contrast 범위 값의 곱

으로 측정한다.

$$DoF(\text{degree of fog}) = (1 - \widetilde{\Delta}) \times \frac{n(FTR \text{ Region})}{\text{영상 크기}} \quad (6)$$

$n(FTR \text{ Region})$ 은 FTR 지역에서의 화소들의 개수이며 DoF는 0부터 1의 범위이다. DoF가 1에 근접할수록 영상은 더욱 안개가 많이 낀 것을 의미한다.

III. 실험

본 논문은 감광식 연기/안개 농도계 센서를 사용하여 측정한 실제 안개 농도와 DoF값의 부합 정도를 비교하여 제안하는 방법의 안개 수치의 정확도를 측정하였다. 제안하는 DoF를 측정하는 컴퓨터의 사양은 CPU Intel Core i7 8GB RAM이고 감광식 연기 농도계 센서는 SM-130 모델로써 센서에서 발사한 빛과 도달한 빛의 양의 차이로 안개 정도를 측정한다. 감광 계수 측정계로 안개 정도를 사전에 측정한 실험 영상들은 대기와 유사한 색상을 가진 구조물 또는 도로를 포함한 다양한 환경에서 획득한 안개 영상들과 비안개 영상들로 구성되었다.

표1은 실제 연기 정도와 DoF 및 평균 산란량 비교 예시로써, 실측 안개 정도의 내림차순으로 나열하였고 나열된 영상들에서 DCP로 구한 평균 산란량과 제안하는 방법으로 구한 DoF 값을 비교하였다. DCP 기반 평균 산란량 값은







실제 안개 농도의 순서와 부합하지 않은 반면 안개와 비안개 경우에 관계없이 제안하는 DoF 값의 순서는 실제 안개 농도와 부합하였다. 제안하는 방법을 안개 농도계를 사용하여 사전에 실제 안개 농도를 측정해둔 환경에서 HXR-NX70N 카메라로 획득한 총 45장의 HD급 RGB 안개 및 비 안개 실험 영상들에서 측정한 DoF 값은 실제 안개 농도와 95% 이상 부합되었다. 또한, 평균 빛 산란량은 안개와 비안개의 경계 값을 결정하기 어려운데 반해 제안하는 DoF 값은 안개와 비안개 영상을 경계 값 0.3으로 구분 가능했다. 속도 측정 관점에서는 한 장의 HD 영상에 대한 DCP 기반 빛 전달량의 평균 값을 측정하는데 0.04초이고 제안하는 방법으로 영상의 안개 정도를 측정하는데 걸리는 시간이 0.045초로 측정되었기 때문에, 제안하는 방법은 실시간 안개 측정이 가능할 뿐만 아니라 DCP 빛 전달량 측정 방법에서 추가적인 복잡도를 야기하지 않는다.

IV. 결 론

본 논문은 다양한 환경을 가진 단일 RGB 영상에서 안개 정도를 수치화하는 방법을 제안한다. 빛 전달량과 local contrast로부터 안개 정도를 수치화하기 때문에, 제안하는 방법의 안개량은 실제 가시거리와 95%이상의 정확도로 부합된다. 또한 제안하는 방법은 빛 전달량을 측정하는 과정에서 local contrast를 측정하기 때문에 기존에 방법에 비해 복잡도 증가 없이 안개 정도를 측정할 수 있다. 그래서

표 1. 실측 안개 정도로 나열된 각 영상에 대해 평균 airlight와 제안한 방법으로 측정한 안개량 비교 결과 예시

Table 1. Listed exemplary images with ascending order of the actual fog degree and the average of airlight of each images, and DoF value of each images by proposed method

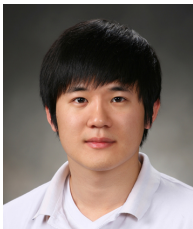
Image							
The average of airlight	0.88	0.8	0.65	0.69	0.65	0.65	0.6
The proposed DoF	0.84	0.55	0.48	0.42	0.29	0.29	0.16
The Actual Fog Degree by Sensor	0.35	0.32	0.31	0.3	0.1	0.05	0.05

제안하는 방법은 단일 RGB 영상에서 안개 정도를 측정하는 효과적이고 실용적인 방법이다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] M.Nergu and S.Nedevschi, "Image based fog detection and visibility estimation for driving assistance system," Intelligent Computer Communication and Processing, 2013 IEEE International Conference on, pp163-168, 2013.
- [2] R. Spinneker, C. Koch, S.-B. Park, and J. Yoon, "Fast fog detection for camera based advanced driver assistance systems," Intelligent Transportation Systems, 2014 IEEE 17th International Conference on, pp 1369-1374, 2014.
- [3] HM. Pavlic, H. Belzner, G. Rigoll, and S. Ilic, "Image based fog detection in vehicles," Intelligent Vehicles Symposium (IV), IEEE, pp. 1132-1137, 2012.
- [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. 2341-2353, 2011.
- [5] K. B. Gibson, D. T. Vo and T. Q. Nguyen, "An Investigation of Dehazing Effects on Image and Video Coding," IEEE Trans. Image Process, vol 21, No.2, pp. 662-673, 2012.
- [6] Raanan Fattal, "Dehazing Using Color-Lines," ACM Transaction on Graphics, vol 34, No.1 pp. 1-14, 2014.
- [7] J.Ahn, H.Cha, "Enhancement of haze removal using transmission compensation," JBE, vol 18, No.2, pp. 148-150, March 2013.
- [8] T.Um, W.Kim. "Dehazing in HSI Color Space with Color Correction," JBE, vol 18, No.2, pp. 140-148, March 2013.

저 자 소 개



이 군 민

- 2013년 2월 ~ 현재 : 경희대학교 전자전파공학과 석박사통합과정
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-2617-8355>
- 주관심분야 : 영상/동영상 신호처리, 컴퓨터 비전



김 원 하

- 1985년 2월 : 연세대학교 전자공학과 공학사
- 1988년 5월 : University of Wisconsin-Madison 전기공학과 석사
- 1996년 1월 ~ 7월 : (미) Motorola 연구원
- 1997년 5월 : University of Wisconsin-Madison 전기공학과 박사
- 1997년 8월 ~ 2000년 2월 : (미) Los Alamos National Lab. 연구원
- 2000년 3월 ~ 2003년 8월 : 명지대학교 정보통신공학과 조교수
- 2009년 8월 ~ 2013년 8월 : University of California San Diego (UCSD) 연구 교수
- 2003년 9월 ~ 현재 : 경희대학교 전자정보대학 전자공학과 교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-4797-3526>
- 주관심분야 : 영상/동영상 신호처리, 컴퓨터 비전, 동영상 부호화