

数字图像处理任务书：低照度图像增强

杜其原 dqy21@mails.tsinghua.edu.cn

1 引言

低照度图像增强是一种常用的图像处理技术，旨在提升低光环境下所采集图像的感知质量。低照度图像通常存在低对比度、低亮度和高噪声等问题，影响了人眼的主观感知和机器视觉模型的识别效果。因此，低照度图像增强在许多领域有着重要的应用价值，如夜间监控、医学成像、航空航天等。

本实验旨在引导同学们掌握一种经典的低照度图像增强方法——基于暗通道先验的增强算法，并通过编程实现，对其效果进行评估和分析。本任务所提供测试图像包含 15 张低照度图像和对应的 15 张正常照度图像，取自公开数据集 LOL^[1]的测试集。

- 请使用 Matlab 或 Python 编程语言完成本任务；
- 请根据任务书要求撰写实验报告，并在报告中介绍必要的代码实现细节、对实验结果的分析和其他思考。
- 请提交代码源文件和实验报告。

2 基于暗通道先验的低照度图像增强

暗通道先验（Dark Channel Prior, DCP）是 Kaiming He 在 2009 年面向去雾问题提出的一种假设。其通过对大量的户外无雾图像的观察发现，除天空区域外，图像的大部分局部区域都存在至少一个颜色通道具有趋近于 0 的值，即存在**暗通道**。基于暗通道先验的假设，作者提出一种去雾算法，相关工作发表在 2009 年 CVPR^[2]。

去雾算法是一种能够消除或减少大气散射引起的雾霾效应，恢复清晰无雾图像的技术。由于低照度图像的反转图在视觉上类似于有雾图像，因此可以利用去雾算法对低照度图像进行增强。

在本次实验中，请使用基于暗通道先验的去雾算法，实现低照度图像增强，并分析其效果和不同参数选择下的差异。算法设计和基本原理与建模可以参考原始论文^[2]，算法主要步骤如下：

1. 对低照度彩色图像进行反转操作得到伪有雾图像 \mathbf{I} 。
2. 使用 DCP 方法对伪有雾图像进行去雾处理。其主要步骤如下：
 - (a) 计算伪有雾图像中每个颜色通道中的最小值通道即暗通道 $\mathbf{J}^{\text{dark}}(\mathbf{x})$
 - (b) 计算大气光 \mathbf{A} ，为 \mathbf{J}^{dark} 中强度为前 0.1% 的像素对应伪有雾图像中亮度最高处对应的 R,G,B 值；
 - (c) 计算透射率 $\tilde{t}(\mathbf{x})$
 - (d) 根据 $\tilde{t}(\mathbf{x})$ 和 \mathbf{A} 恢复无雾图像 $\mathbf{J}(\mathbf{x})$

其中 $\mathbf{x} = (x, y)$ 是像素点的位置，相关计算公式如下：

$$\mathbf{J}^{\text{dark}}(\mathbf{x}) = \min_{c \in \{r, g, b\}} \left(\min_{\mathbf{y} \in \Omega(\mathbf{x})} (\mathbf{I}^c(\mathbf{y})) \right)$$

$$\tilde{t}(\mathbf{x}) = 1 - \omega \min_{c \in \{r, g, b\}} \left(\min_{\mathbf{y} \in \Omega(\mathbf{x})} \left(\frac{\mathbf{I}^c(\mathbf{y})}{\mathbf{A}^c} \right) \right)$$

$$\mathbf{J}(\mathbf{x}) = \frac{\mathbf{I}(\mathbf{x}) - \mathbf{A}}{\max(\tilde{t}(\mathbf{x}), t_0)} + \mathbf{A}$$

3. 根据去雾后的图像恢复得到增强后的图像。

其中 $\Omega(\mathbf{x})$ 表示以 \mathbf{x} 为中心的局部区域； ω 为一个常数； t_0 表示阈值。

对于如下的示例图像，其颜色反转后的伪有雾图像、伪有雾图像的暗通道、所得透射率、所恢复的无雾图像和其暗通道，以及增强后的图像如下所示，可以作为检验自己所编写算法正确性的参考。



图 1: 低照度图像



图 2: 颜色翻转后的伪有雾图像



图 3: 伪有雾图像的暗通道



图 4: 去雾后的图像

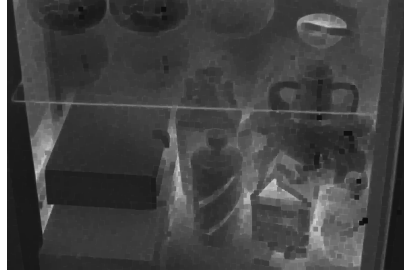


图 5: 去雾后图像的暗通道



图 6: 增强后的图像

根据以上提示，从所给的低照度图像任选一张，完成以下任务：

1. 给出反转后的伪有雾图像；
2. 取 $\omega = 0.95, t_0 = 0.1, \Omega(x_0, y_0) = \{(x, y) | |x - x_0| \leq 3, |y - y_0| \leq 3\}$ 给出去雾后的图像（注意图像边界位置的处理），计算去雾后图像暗通道，观察与去雾前暗通道的不同；
3. 给出最终得到的增强后的图像，并通过主观感知质量和 PSNR/SSIM 等定量指标，简单分析增强结果在不同的 ω, t_0 参数下的变化；
4. 分析不同的局部区域 $\Omega(\mathbf{x})$ 大小的选择对增强结果的影响。

参考文献

- [1] WEI C, WANG W, YANG W, et al. Deep Retinex Decomposition for Low-Light Enhancement[C]// British Machine Vision Conference. 2018.
- [2] HE K, SUN J, TANG X. Single image haze removal using dark channel prior[C]// 2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2009: 1956-1963. DOI: [10.1109/CVPR.2009.5206515](https://doi.org/10.1109/CVPR.2009.5206515).