



# 基于光照物理模型的低 照度图像复原算法

---

安康学院：余顺园

2019.11.16



1

研究背景及现状



2

解决问题方案



3

实验结果与分析

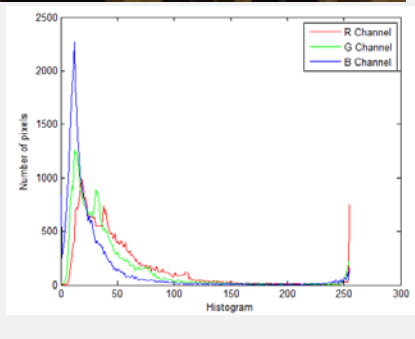
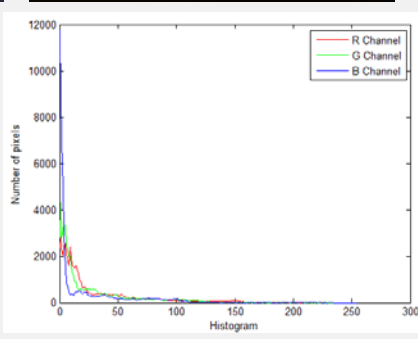
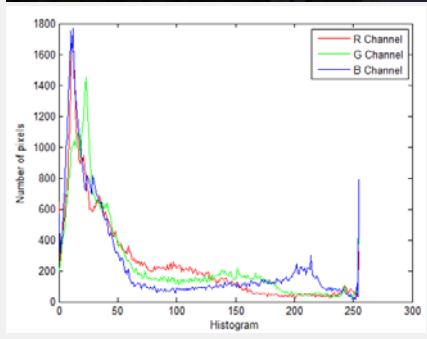
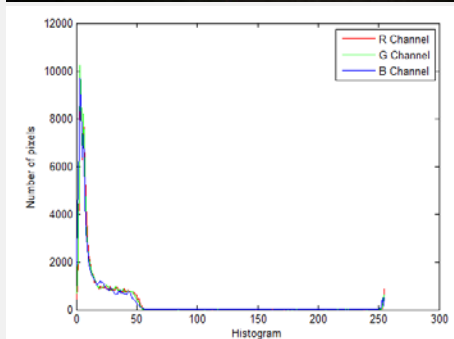


4

结论



# 1、研究背景及现状



**研究对象**：夜视或背光等环境受限情况下拍摄的**低照度**图像

**对象特点**：整体亮度**低**、灰度的**分布范围小**

# 1、研究背景及现状

**研究目标：**是增强暗区，抑制高光区，改善图像的视觉效果  
提升图像质量

## 研究现状：



### 直方图均衡化

包括全局直方图均衡化和局部直方图均衡化,思想简单,会造成图像的灰阶归并,易引入噪声,在信噪灰阶的归并使得图像的细节更加难以分辨,没有考虑图像场景的边缘信息,增强后的图像存在边缘清晰度不如从前



### 基于Rerintinex

能有效改善图像的视觉效果,但是算法时间开销较大,色彩失真严重,在图像的边缘区域存在光晕现象;且由于照射分量难以估计,因此对存在高光区和暗区的低照度图像,增强效果不佳

# 1、研究背景及现状

## 研究现状:

03

### 基于滤波的思想

从滤除低照度图像中的噪声出发，然后通过色调映射等操作提升动态范围.自适应滤波，能在一定程度上提升图像的信噪比，但是该方法对一般暗的场景图像有效，对非常暗的场景图像动态范围提升效果有限，运算量较大。部分方法需要同一场景的多幅图像提供交互信息。

04

### 基于物理模型的思想

Dong等人 and Zhang等人认为对低照度的图像逐像素取反后的图像和雾天图像类似，然后借助于He等人[35]提出的暗原色先验（DCP）去雾的思想，对低照度图像进行增强；Cao等人研究户外图像亮度随时间变化的关系，推导出亮度基线模型，并通过颜色补偿对低照度的图像进行增强；Dong 等人提出了局部最大亮度先验思想。

# 1、研究背景及现状

## 问题描述:

1、从图像增强的角度提升低照度图像的对比度，不考虑低照度图像形成的物理过程，因此图像中的局部细节及图像的色彩无法完全恢复，且无法自适应不同场景的图像。

2、基于物理模型的低照度图像增强方法，能取得一定的效果，但是均是直接基于标准的雾天图像退化模型，并假设大气光是均匀的，通常将画面中最亮的区域作为大气光的待估区域。而对于低照度或者是夜间图像而言，画面中通常存在大量的人工光源，如路灯，车灯等等，这些光线也会发生散射混入环境光中。因此，对于低照度图像或夜间图像而言，认为环境光是全局均分分布，将最亮的区域作为环境光的待估区域，不符合实际情况；低照度下捕获的图像其退化程度与其场景深度及相应的环境光密切相关。

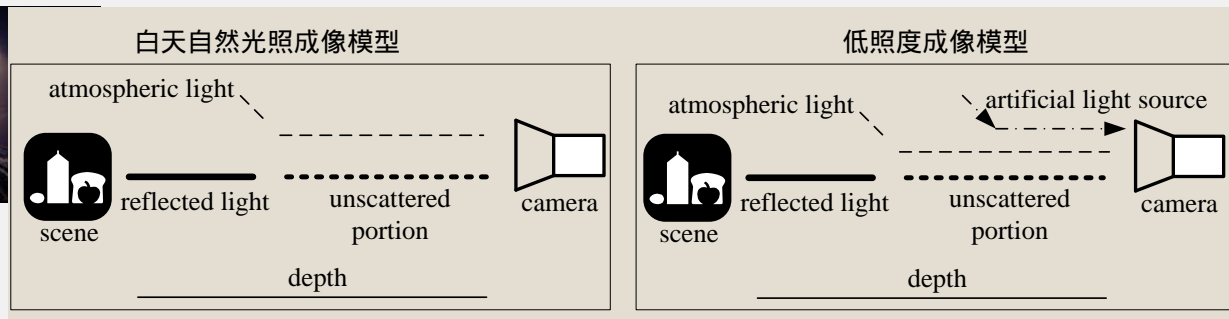
3、且低照度图像信噪比本身就低，因此在对其进行增强的同时应尽可能的减少信息损耗。

## 2 解决问题的方案---低照度弱图像信号退化的物理模型建立

低照度图像特点：拍摄环境中存在大量的人工光源，导致环境光随光源变化而变化，分布不均匀。



低照度图像中的人工光源



基于散射衰减模型，在白天有雾图像退化模型基础上构建了适用于低照度图像物理模型，如式(1)所示。

观测到的低照度图像

目标图像

$$S_c(x, y) = R_c(x, y) \cdot t(x, y) + L_c(l(x, y), x, y) \cdot (1 - t(x, y)) \quad \text{式(1)}$$

光散射衰减率

环境光，随实际场景的光源变化而变化！

## 2解决问题的方案-----低照度弱图像信号复原

$$S_c(x, y) = R_c(x, y) \cdot t(x, y) + L_c(l(x, y), x, y) \cdot (1 - t(x, y))$$

已知量

求解的目标

待估计量

问题的提出  
及解决方法

- 1)针对环境光随局部场景光源变化的问题，提出了基于照射—反射模型的初始环境光估计算法
- 2)针对光散射衰减透射率估计不准确，易导致暗区细节无法复原的问题，提出了基于错误信息约束的光散射衰减率估计和环境光补偿算法
- 3)针对复原结果易导致偏色问题，提出了基于亮度分量的低照度弱图像信号复原算法



## 2 解决问题的方案---低照度弱图像信号复原

### 环境光的初步估计

- 基于基于照射---反射模型，通过计算图像中的像素点与周围区域的加权平均来初步估计低照度图像的环境光

$$L_{ini}(x, y) = S(x, y) * F(x, y)$$

$$F(x, y) = \lambda e^{\frac{-(x^2+y^2)}{c^2}} \quad \iint F(x, y) dx dy = 1$$

### 环境光的补偿及光散射衰减率估计

恢复图像的对比度的提升与信息损耗的程度成反比，同时与光散射的衰减率也成反比，基于此理论，通过逐步迭代的方法，估计光散射衰减率的同时更新补偿环境光

### 环境光和光散射衰减率细化

环境光和光散射衰减率是基于场景光线变化和景深变化均是局部平滑的假设而得到的，但是在诸如景深跳变等场景不满足此假设的地方，恢复的结果往往存在严重光晕和块效应，因此需要对其进行细化。选取快速导向滤波进行细化。

求解模型，对低照度图像信号进行复原

## 2 解决问题的方案---环境光的补偿更新及光散射衰减率估计

### 总体思想：信息损耗约束

**信息损耗**：是指恢复的图像的像素值超出了图像有效的动态范围【0，255】，由于超出的部分被截断，导致对应区域的场景信息丢失。

**期望**：恢复图像的对比度越高，而与此同时信息损耗越低越好

**事实**：通过研究发现，光散射衰减率越小，恢复图像对比度越高，但是信息损耗越大，反之，若光散射衰减率越大，恢复的对比度越低，但是信息损耗也越小

## 2 解决问题的方案---环境光的补偿更新及光散射衰减率估计

### 方法：迭代

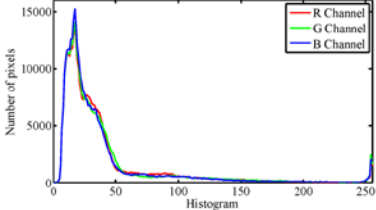
step1. 确定最大的迭代次数  $Iterations$ . 设定当前观测窗内初始的光散射衰减率为  $t_{ini} = t_{min}$ . 设定其更新的步长为  $\delta = 0.05$ , 因为光散射衰减率的取值范围为  $[0,1]$ , 则最大的迭代次数为:  $Iterations = (1 - t_{ini}) / \delta$ .

step2. 确定环境光更新的步长。当图像的显示范围为  $[0,255]$  时, 通常像素值为 128 时为人眼可接受的亮度, 因此计算可得环境光的更新步长为:  $L_{step} = (128 - L_{ini}) / Iterations$ .

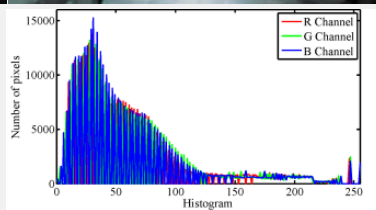
step3. 计算信息损耗。将初始的环境光和光散射衰减率代入模型中计算得到当前窗口的目标估计值  $\hat{R}_\omega(x,y)$ , 统计  $\hat{R}_\omega(x,y)$  三通道的溢出像素的总数, 其中超过 255 的像素数统计为上溢  $upflow$ , 小于 0 的像素数统计为下溢  $downflow$ , 总的信息损耗为  $N_{loss} = upflow + downflow$ .

step4. 散射衰减率和环境光更新。当信息损耗  $N_{loss}$  大于设定的阈值时  $N_{th}$ , 则散射衰减率增加步长  $\delta$ ,  $t_{ini} = t_{ini} + \delta$ . 环境光以步长  $L_{step}$  变化, 若上溢大于下溢即  $upflow > downflow$  时, 环境光增加  $L_{step}$ ,  $L_{ini} = L_{ini} + L_{step}$ ; 反之则环境光减少  $L_{step}$ ,  $L_{ini} = L_{ini} - L_{step}$ .

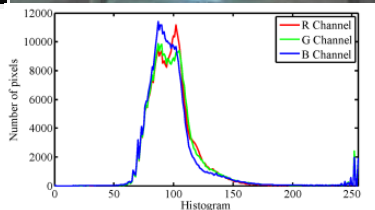
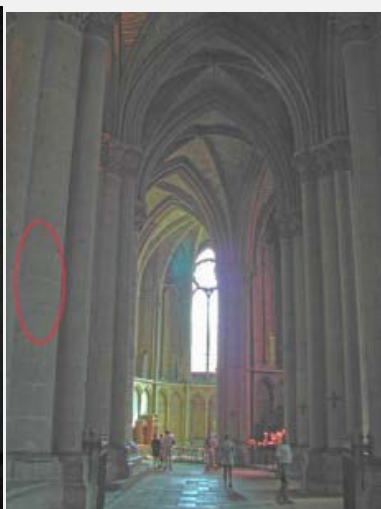
# 3实验结果与分析



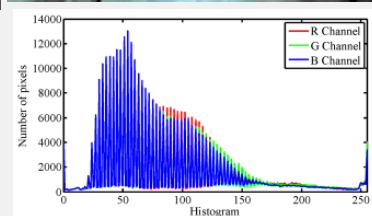
(a) 输入低照度图及其直方图



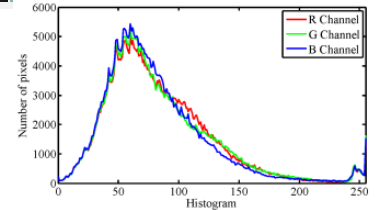
(b) ESIHE的结果及其直方图(2014)



(c) BFLCC的结果及其直方图(2010)



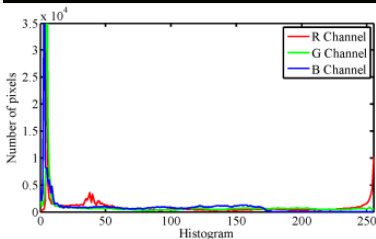
(d) MSRCP的结果及其直方图(2014)



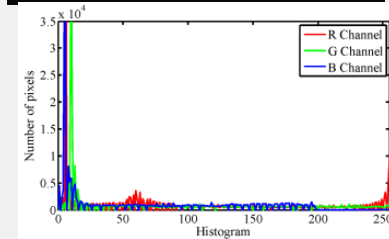
(e) 本文方法的结果及其直方图

室内场景的低照度图"Cathedral"的实验结果。

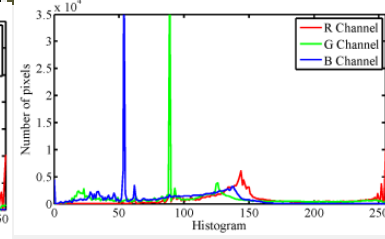
# 3实验结果与分析



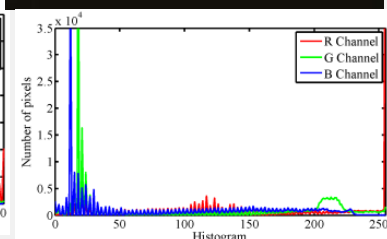
(a) 输入低照度图及其直方图



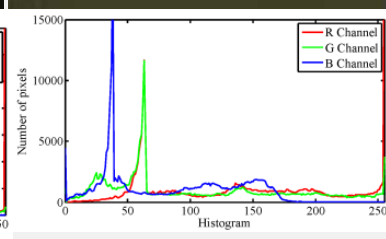
(b) ESIHE的结果及其直方图(2014)



(c) BFLCC的结果及其直方图(2010)



(d) MSRCP的结果及其直方图(2014)

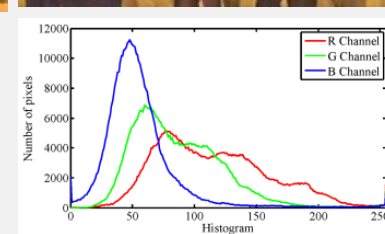
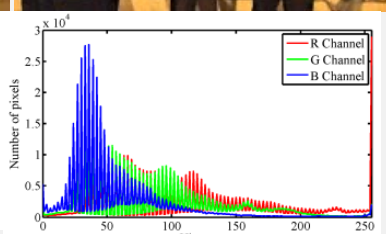
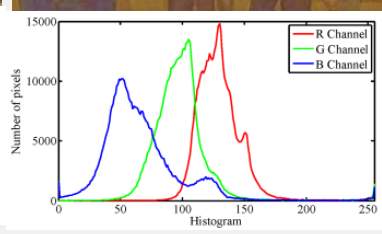
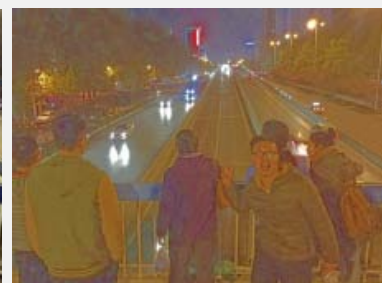
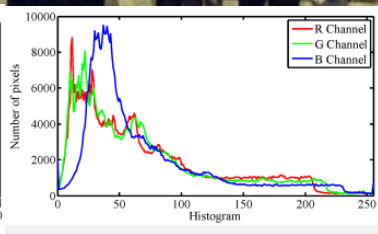
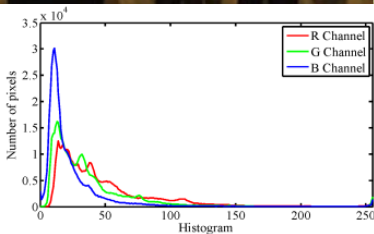


(e) 本文方法的结果及其直方图

户外场景的低照度图“Ferrari”实验结果比较



# 3实验结果与分析



(a) 输入低照度图及其直方图

(b) ESIHE的结果及其直方图(2014)

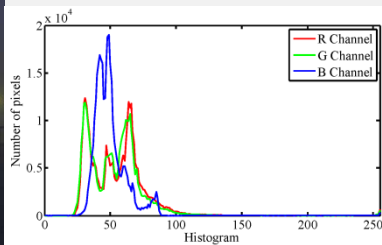
(c) BFLCC的结果及其直方图(2010)

(d) MSRCP的结果及其直方图(2014)

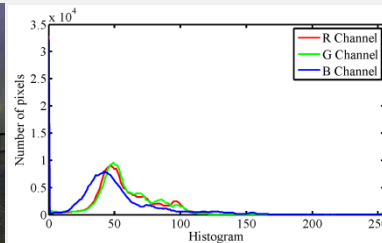
(e) 本文方法的结果及其直方图

夜间交通场景的低照度图"Peoples"。

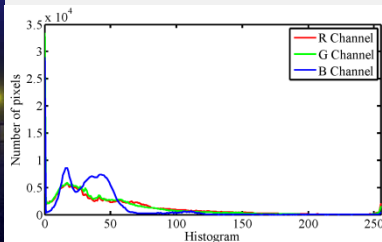
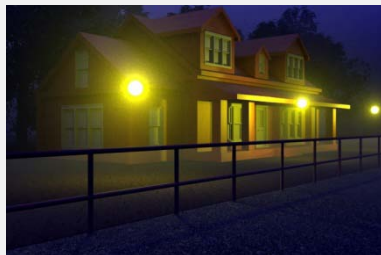
# 3实验结果与分析



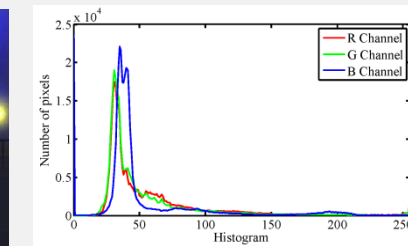
(a)输入夜间有雾图



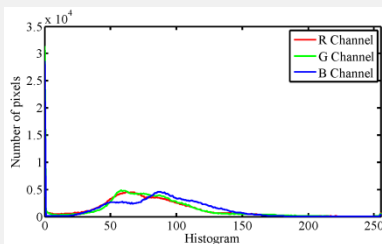
(b) Li等人的算法[83]



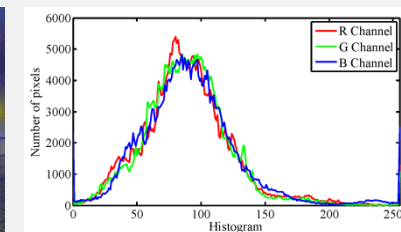
(c) He等人的结果[35]



(d) Meng等人的结果[114]



(e) Zhang等人的结果[113]



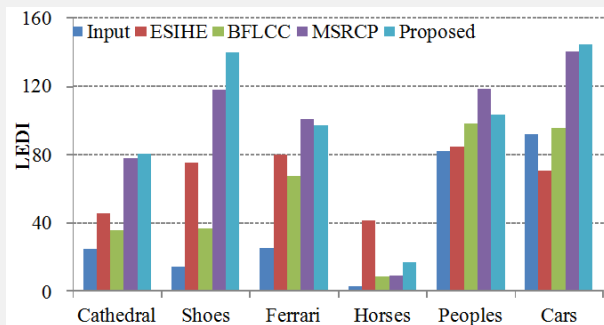
(f) 本文算法的结果

夜间有雾图像  
实验结果及其  
相应直方图分布  
比较

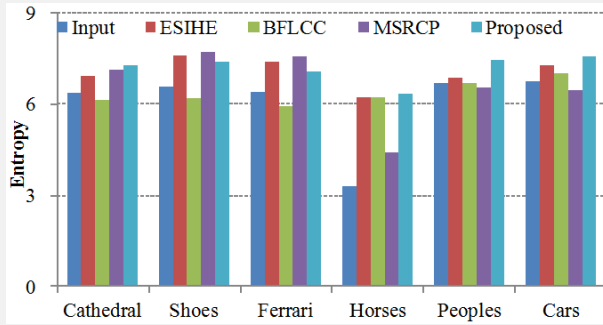
# 3实验结果与分析

## 客观评价分析

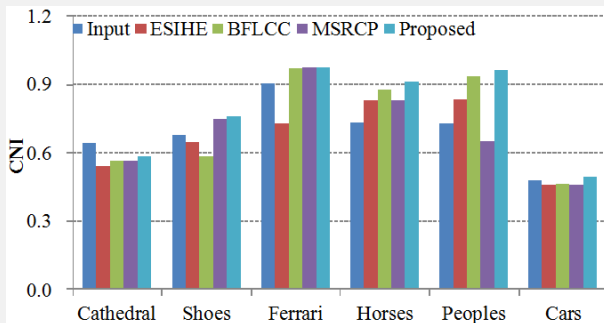
对实验图像进行了局部边缘强度检测，该指标简记为LEDI，理论上LEDI值越大，说明图像中的边缘信息越丰富；基于信息论的思想，计算并比较了各图像的信息熵，简记为Entropy，理论上Entropy的值越大，说明图像的信息量越大；关于颜色的度量，计算并比较了各图像的色彩自然度指标和色彩丰富度指标，分别简记为CNI和CCI



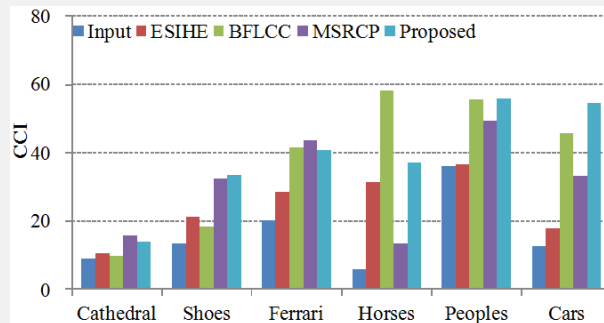
(a) 局部边缘检测指标



(b) 图像的信息熵Entropy



(c) 色彩自然度指标 CNI



(d) 色彩丰富度指标 CCI

各比较  
算法结  
果的客  
观评价  
指标



## 4结论

(1) 从图像复原的角度实现低照度图像增强，首次利用光照散射衰减物理模型来描述低照度弱图像信号成像过程，结合实际低照度图像获取的场景环境光源特点，估计出随局部场景光源空间变化的环境光；

(2) 假设环境光是空间平滑的，基于Retinex的照射反射理论，提取输入图像的照度分量作为环境光的初始估计值；

(3) 利用信息损耗和对比度之间的关系，基于信息损耗约束实现光散射衰减率和环境光的更新；

(4) 为了保持恢复后的图像和输入图像的颜色一致性，仅对输入图像的亮度分量进行了增强，所恢复的图像能重现亮、暗区域的细节，且具有生动、丰富、自然的颜色；同时利用快速导向滤波对中间参数进行细化，有效避免了光晕效应和块效应。

■ 谢谢大家，请多指点！

Thank You !