

数图作业 5：图像亮度增强

自 64 赵文亮 2016011452

2018 年 11 月 15 日

1 引言

图像的亮度是影响图像品质的一个关键因素，有时由于拍摄时环境较暗，导致图像中的细节难以辨认。图 1 为一张在暗光下拍摄的图像。本文将使用多种算法实现亮度调整。第 2 节介绍了直方图均衡法，第 3 节介绍了 S 曲线校正及四种不同的校正方法，第 4 节介绍了一种自适应的亮度调整算法，第 5 节对本文所述的几种算法的实验结果进行比较，最后对实验过程加以总结。



图 1: 暗光拍摄图像

2 直方图均衡

直方图是数字图像处理中的一个重要工具。设图像共有 N 个像素点，其中灰度为 i ($i = 0, 1, \dots, 255$) 的像素个数为 n_i ，则灰度 i 出现的频率为 $h_i = n_i/N$ 。称 $h_i \sim i$ 关系为灰度直方图。直方图均衡的目的是使得图像中的每种灰度对应的点数大致相等，即让直方图变得更加平均。直方图均衡的算法如下：

1. 对输入的灰度图，计算其直方图 $\{h_i\}$

2. 从 $\{h_i\}$ 计算积分直方图 $\{c_i\}$, 即

$$\begin{cases} c_0 = h_0 \\ c_i = c_{i-1} + h_i, 1 \leq i \leq 255 \end{cases} \quad (1)$$

3. 遍历所有像素, 若像素的灰度值为 g , 则将其灰度值修改为 $\lfloor 255c_i(g)/N \rfloor$

3 S 曲线校正

图像亮度调整的一个很直观的想法就是建立一个从原始图像的灰度到目标图像的灰度的一个映射。我们把这个映射对应的曲线称为 S 曲线, 这一类调整方式称为 S 曲线校正。本节中的灰度范围限制在 $[0, 1]$ 内, 用 x 表示原始图像灰度值, $f(x)$ 表示经过校正后的灰度值。下面将分别讨论线性校正、Gamma 校正、正弦校正和对数校正四种校正方式。

3.1 线性校正

线性校正的公式为:

$$f_{\text{linear}}(x) = \max(\min(\alpha x + \beta, 1), 0) \quad (2)$$

其中 α, β 为可调参数。 $\alpha = 1.5, \beta = 0.2$ 时的线性校正 S 曲线如图 2a 所示。不难看出, 由于线性校正中的 $\alpha x + \beta$ 不一定落在 $[0, 1]$ 的范围内, 必须加以限制, 而这就导致了 S 曲线被截断, 从图上看则是一阶导数不连续, S 曲线不够光滑。

3.2 Gamma 校正

Gamma 校正的公式为

$$f_{\text{Gamma}}(x) = x^\gamma \quad (3)$$

其中 $\gamma > 0$ 为可调参数。由于 0 和 1 都是 f_{Gamma} 的不动点, 且 f_{Gamma} 在 $[0, 1]$ 上单调, 所以必有 $f_{\text{Gamma}} \in [0, 1]$, 则 Gamma 校正的 S 曲线一定是光滑的。 $\gamma = 0.5$ 时的 Gamma 校正 S 曲线如图 2b 所示。

3.3 正弦校正

基于 $f(0) = 0$ 和 $f(1) = 1$ 的条件可以构造出一种正弦校正:

$$f_{\text{sine}}(x) = \max(\min(x + \alpha \sin(\pi x), 1), 0) \quad (4)$$

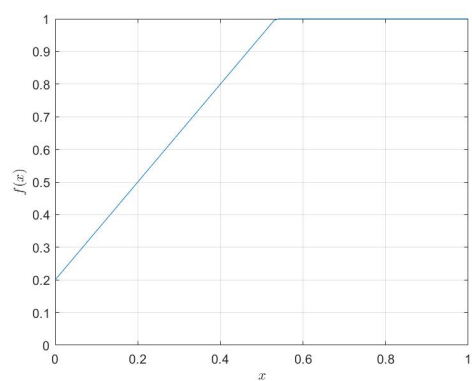
$\alpha = 0.3$ 时的 S 曲线如图 2c 所示。需要指出的是, 在 $\alpha > 1/\pi$ 或 $\alpha < 0$ 时, 同样会有截断的现象。

3.4 对数校正

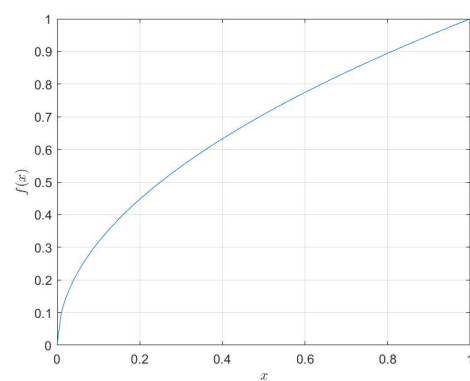
对数校正的公式为

$$f_{\log}(x) = \frac{\log(1 + \alpha x)}{\log(1 + \alpha)} \quad (5)$$

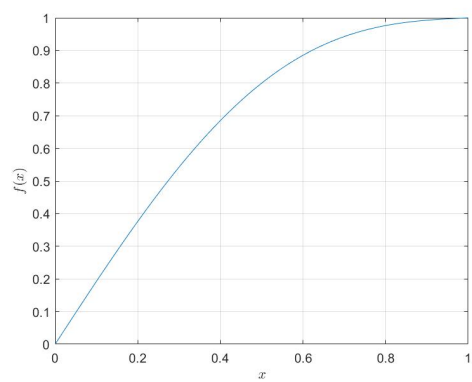
其中 $\alpha > -1$ 。可见 $f_{\log}(0) = 0$, $f_{\log}(1) = 1$, 且在 $[0, 1]$ 上递增。 $\alpha = 5$ 时对数校正的 S 曲线如图 2d 所示。



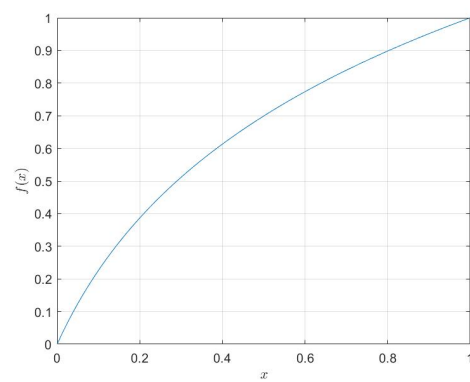
(a) 线性校正



(b) Gamma 校正



(c) 正弦校正



(d) 对数校正

图 2: 四种校正方式的 S 曲线

4 自适应亮度调整

第 3 节所述的各种校正方式虽然能够达到亮度调整的效果，但是往往需要手动调节参数。本节将介绍一种自适应的亮度调整算法。本节所述算法是我在阅读文献 [1] 后产生的灵感。

从第 3 节中的分析可知，Gamma 校正具有比较好的性质。所以我使用 Gamma 校正函数 f_{gamma} 来完成亮度调整，关键问题是如何推断出合适的 γ 值。可以发现，使用不同的 γ 值对图像做校正后，图像中能够体现出来的细节是不同的。图像中细节的多少可以用图像中边缘的多少来衡量，于是可以在不同的 γ 值的 Gamma 校正后对图像进行边缘检测，选择边缘数目最多时的 γ 值作为最终的 γ 值。然而，由于边缘检测经常会得到一些离散的点，这些点会影响我们的判断。于是我对图像进行一次平均滤波，再去除图像中像素值小于某一阈值的点。例如使用 3×3 的平均滤波，阈值选为 0.3，则保留下来的点至少有三个邻点也为边缘点。经过这样的筛选后，再通过连通域计数算法得到边缘总数。自适应亮度调整的具体过程如算法 1 所示。

算法 1: 自适应亮度调整

```

Input : InputImg
Output: OutputImg
max_edges  $\leftarrow$  0;
h  $\leftarrow$  average_filter;
threshold  $\leftarrow$  0.3;
for gamma  $\leftarrow$  0; gamma < 2; gamma  $\leftarrow$  gamma + 0.1 do
    gamma_adjusted_img  $\leftarrow$  gammaAdjust(InputImg,  $\gamma$ );
     $\Omega \leftarrow$  edgeDetection(gamma_adjusted_img);
     $\Omega\_filtered \leftarrow$  filter( $\Omega$ , h);
     $\Omega \leftarrow$  ( $\Omega\_filtered > threshold$ )  $\circ$   $\Omega$ ;
    //i.e. for each pixel p in  $\Omega$ , if  $\Omega\_filtered \leq threshold$ , let  $\Omega(p) \leftarrow 0$ 
    edges  $\leftarrow$  count_edges( $\Omega$ );
    if max_edges < edges then
        max_edges  $\leftarrow$  edges;
        best_gamma  $\leftarrow$  gamma;
    end
end
OutputImg  $\leftarrow$  gammaAdjust(InputImg, best_gamma);

```

5 算法结果及比较

对原属图像应用本文所述的几种亮度调整算法，结果如图 3 所示。从中看出，几种算法都能够有效提高亮度。相比之下，非线性 S 曲线的校正比直方图均衡和线性校正更加柔和，Gamma 校正和对数校正比正弦校正看起来更加自然。自适应亮度调整则具备了 Gamma 校正的优点，同时又无需手动设置参数，增强效果很好。

为了进一步检验我的自适应亮度调整的算法，我使用 [1] 中的一张示例图片（dinner.jpg）进行测试，结果如图 4 所示。



图 3: 亮度调整结果对比



图 4: dinner.jpg 自适应亮度调整结果

6 总结

通过本次作业，我亲手实践了多种亮度调整的算法。在复习了 S 曲线的相关知识后，我基于 S 曲线校正的原理自己设计了几种 S 曲线（正弦校正、对数校正），都取得了较好的效果。起初我试图实现文献 [1] 中提出的自适应调整算法，但是没能成功，也算是一点小遗憾。不过在这篇文献的启发下，我知道了可以利用边缘检测得到的边缘数来衡量图像中的细节数，进而设计出了第 4 节中的亮度自适应调整算法。经过测试之后，发现这个算法能够有效提升亮度。此外，令我感到巧合的是，我在实现自适应调整算法的过程中，需要进行边缘检测和连通域计数，而这恰好是我们之前的两次作业中的内容，调用自己亲手写的连通域计数和 Canny 边

缘检测算法时真的非常有成就感。

参考文献

- [1] L. Yuan and J. Sun, “Automatic exposure correction of consumer photographs,” pp. 771–785, 2012.

A 程序操作指南

我使用本文中所述的图像亮度调整算法编写了程序，程序可以通过两种方式打开：

- 双击 app 目录下的 IntensityAdjust.mlapp
- 在 MATLAB 命令行中输入 appdesigner IntensityAdjust.mlapp

主界面如图 5a 所示，当所采用算法有可调参数时，可以拖动滑条改变参数；点击下拉框可以选择采用的调整算法，如图 5b 所示。点击载入图片按钮可以更换图片。



(a) 主界面



(b) 算法选择

图 5: 界面操作指南