

# 高级图像处理与分析课程实验报告

学号：SA25225261 姓名：吕智 日期：2025.11.6

# 实验2：直方图均衡化

## 一、实验内容

### 1. 计算灰度图像的归一化直方图

具体内容：利用OpenCV对图像像素进行操作，计算归一化直方图并在窗口中以图形的方式显示出来

### 2. 灰度图像直方图均衡处理

具体内容：通过计算归一化直方图,设计算法实现直方图均衡化处理。

### 3. 彩色图像直方图均衡处理

具体内容：在灰度图像直方图均衡处理的基础上实现彩色直方图均衡处理。

## 二、实验完成情况

### 1. 计算灰度图像的归一化直方图

令 $r_k, k = 0, 1, 2, \dots, L - 1$  表示一幅 $L$ 级灰度数字图像 $f(x, y)$ 的灰度。 $f$ 的非归一化直方图定义为：

$$h(r_k) = n_k, k = 0, 1, 2, \dots, L - 1$$

其中， $n_k$ 为 $f$ 中灰度为 $r_k$ 的像素的数量，并细分的灰度称为直方图容器。类似的， $f$ 的归一化直方图定义为：

$$p(r_k) = \frac{h(r_k)}{MN} = \frac{n_k}{MN}$$

式中， $M$ 和 $N$ 分别是图像的行数和列数。多数情况下处理的都是归一化直方图。本实验中，我们首先统计出256个灰度级在整个图像中分别出现了多少次，然后计算像素的总数，通过灰度出现的频数比上像素总数，就可以从中得到归一化直方图，下面是具体函数：

```
1 //计算灰度图像的归一化直方图
2 void calculateNormalizedHist(const Mat& gray_image){
3     const int bins = 256; //灰度等级个数
4     // 1. 初始化并统计灰度数目 h(i)
5     vector<float> hist(bins, 0);
6     long total_pixels = gray_image.total();
7     for (int i = 0; i < gray_image.rows; ++i) {
8         const uchar* p = gray_image.ptr<uchar>(i);
9         for (int j = 0; j < gray_image.cols; ++j) {
10             hist[p[j]]++; //统计每个灰度的数目
11         }
12     }
13     // 2. 计算归一化直方图
14     vector<float> normalized_hist(bins);
15     for (int i = 0; i < bins; ++i) {
16         normalized_hist[i] = (float)hist[i] / total_pixels; // 每个灰度的像素
17         // 数目/总像素数目
18     }
19     // 3. 绘制直方图
20     int hist_w = 512;
21     int hist_h = 400;
```

```

21     int bin_w = cvRound((double)hist_w / bins); // 每个柱子的宽度
22     Mat hist_image(hist_h, hist_w, CV_8UC1, Scalar(255)); // 白色背景
23     float max_val = *max_element(normalized_hist.begin(),
24         normalized_hist.end()); //// 找到直方图的最大值，用于归一化绘图高度
25     for (int i = 0; i < bins; ++i) {
26         // 计算当前柱子的高度（归一化到图像高度）
27         int bar_h = cvRound(normalized_hist[i] * hist_h / max_val);
28         // 绘制矩形柱子
29         rectangle(hist_image,
30             Point(bin_w * i, hist_h - bar_h), // 左上角点 (x, y)
31             Point(bin_w * (i + 1) - 1, hist_h), // 右下角点 (x, y)
32             Scalar(0), // 黑色
33             FILLED); // 填充矩形
34     }
35 }
```

这里采用了rectangle函数来绘制每个灰度柱子，最终生成了一张灰度二值图。

## 2. 灰度图像直方图均衡处理

直方图均衡化的离散形式为：

$$s_k = T(r_k) = (L-1) \sum_{j=0}^k p_r(r_j), k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

其中， $p_r(r_k)$ 为归一化图像直方图， $\sum_{j=0}^k p_r(r_j)$ 为累积分布函数CDF，使用上式即可得到均衡化的直方图。具体代码流程为：1.统计直方图，2.计算累积分布函数CDF，3.计算变化后的灰度级 4.输出图像，代码如下：

```

1 // 灰度图像直方图均衡化处理
2 void equalizeHistGray(const Mat& gray_image, Mat& equalize_gray){
3     const int bins = 256; // 灰度等级个数
4     // 1. 统计直方图 h(i)
5     vector<int> hist(bins, 0);
6     for (int i = 0; i < gray_image.rows; ++i) {
7         const uchar* p = gray_image.ptr<uchar>(i);
8         for (int j = 0; j < gray_image.cols; ++j) {
9             hist[p[j]]++;
10        }
11    }
12    long total_pixels = gray_image.total();
13
14    // 2. 计算累积分布函数 CDF
15    vector<float> cdf(bins, 0.0);
16    float cumulative_sum = 0.0;
17    for (int i = 0; i < bins; ++i) {
18        cumulative_sum += (float)hist[i] / total_pixels;
19        cdf[i] = cumulative_sum;
20    }
21
22    // 3. 计算灰度级
23    vector<int> s(bins, 0);
24    for (int i = 0; i < bins; ++i)
25        s[i] = saturate_cast<uchar>(bins * cdf[i] + 0.5);
```

```

26
27 // 4. 输出图像
28 equalize_gray.create(gray_image.size(), gray_image.type()); // 初始化输出
29   图像
30   for (int i = 0; i < gray_image.rows; ++i) {
31     const uchar* p_src = gray_image.ptr<uchar>(i);           // 输入行指针
32     uchar* p_dst = equalize_gray.ptr<uchar>(i);           // 输出行指针
33     for (int j = 0; j < gray_image.cols; ++j) {
34       p_dst[j] = s[p_src[j]]; // 将原始灰度值映射到均衡化后的灰度值
35     }
36   }

```

### 3. 彩度图像直方图均衡处理

彩色图像是三通道的，它有RGB, CMYK, HSI三种模型，所以对它进行直方图均衡处理的方法也是许多的。对于RGB模型，可以分别对三个通道进行灰度图像的直方图均衡化处理，再将三通道合并；对于HSI模型，由于I即为灰度，所以可以直接对I通道进行直方图均衡化，再将图像拼起来即可。本实验代码采用了分别对RGB三通道进行灰度图像直方图均衡化的处理。

```

1 // 彩色图像直方图均衡处理
2 void equalizeHistColor(const Mat& color_image, Mat& equalize_color){
3   CV_Assert(color_image.type() == CV_8UC3);
4   // 1. 分离 B, G, R 通道
5   vector<Mat> bgr_channels;
6   split(color_image, bgr_channels);
7
8   // 2. 对每个通道独立进行直方图均衡化
9   Mat b_equalized, g_equalized, r_equalized;
10  equalizeHistGray(bgr_channels[0], b_equalized); // Blue
11  equalizeHistGray(bgr_channels[1], g_equalized); // Green
12  equalizeHistGray(bgr_channels[2], r_equalized); // Red
13
14  // 3. 将均衡化后的三个通道合并
15  vector<Mat> equalized_channels = {b_equalized, g_equalized,
16  r_equalized};
17  merge(equalized_channels, equalize_color);
18

```

## 三、实验结果

### 1. 计算灰度图像的归一化直方图

原图：

0. Original Color Image

Zoom x1 (CTRL+P) Zoom x30 (see label) (CTRL+X) Zoom in (CTRL++) Zoom out (CTRL+-) Save current image (CTRL+S) Copy image to clipboard (CTRL+C) Display p



:4 B:4

原图转变为灰度图像：

0. Original Grayscale Image

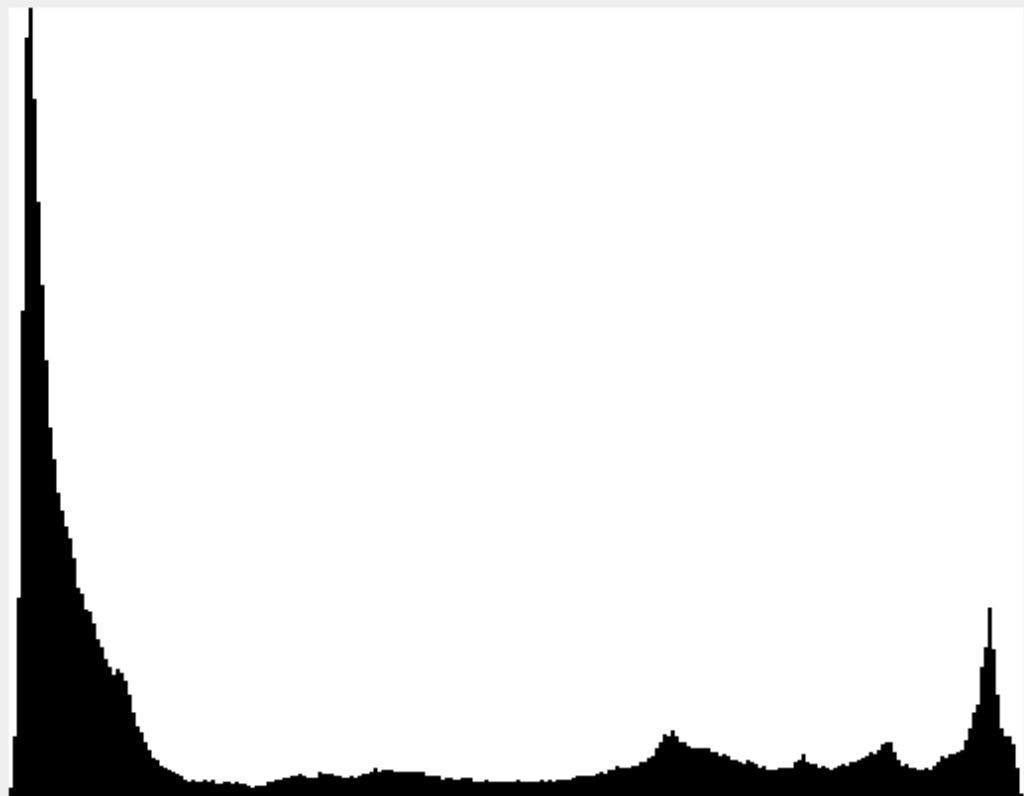
Zoom x1 (CTRL+P) Zoom x30 (see label) (CTRL+X) Zoom in (CTRL++) Zoom out (CTRL+-) Save current image (CTRL+S) Copy image to clipboard (CTRL+C) Display p



对灰度图像进行归一化处理：

### 1. Normalized Histogram

Del (CTRL+X) Zoom in (CTRL++) Zoom out (CTRL+-) Save current image (CTRL+S) Copy i

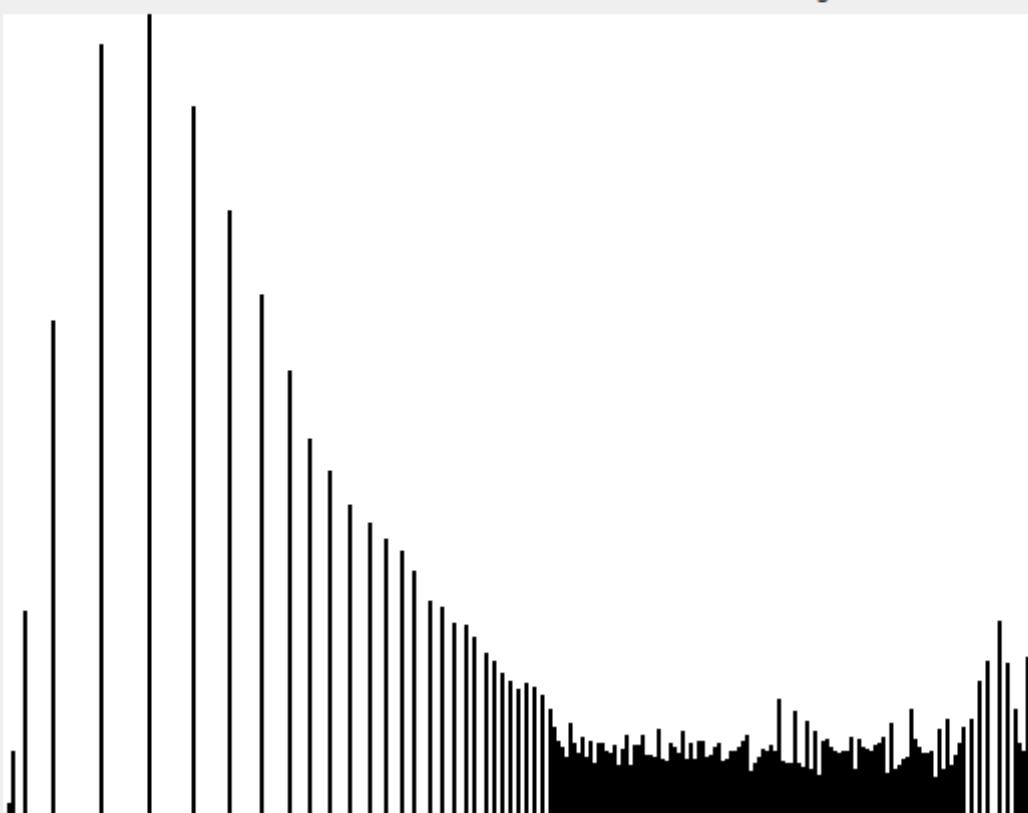


### 2. 灰度图像直方图均衡处理

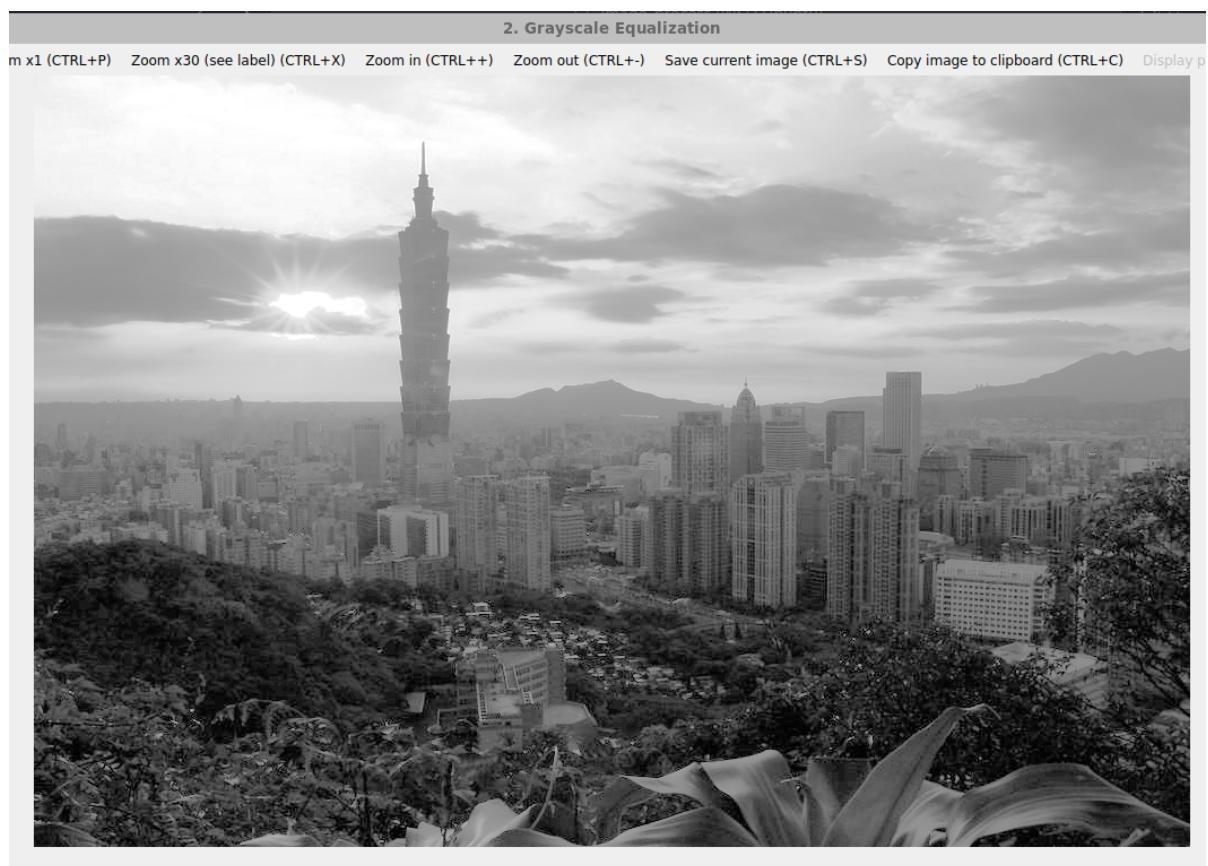
直方图均衡化:

### 1. Normalized Histogram

TRL+X) Zoom in (CTRL++) Zoom out (CTRL+-) Save current image (CTRL+S) Copy image



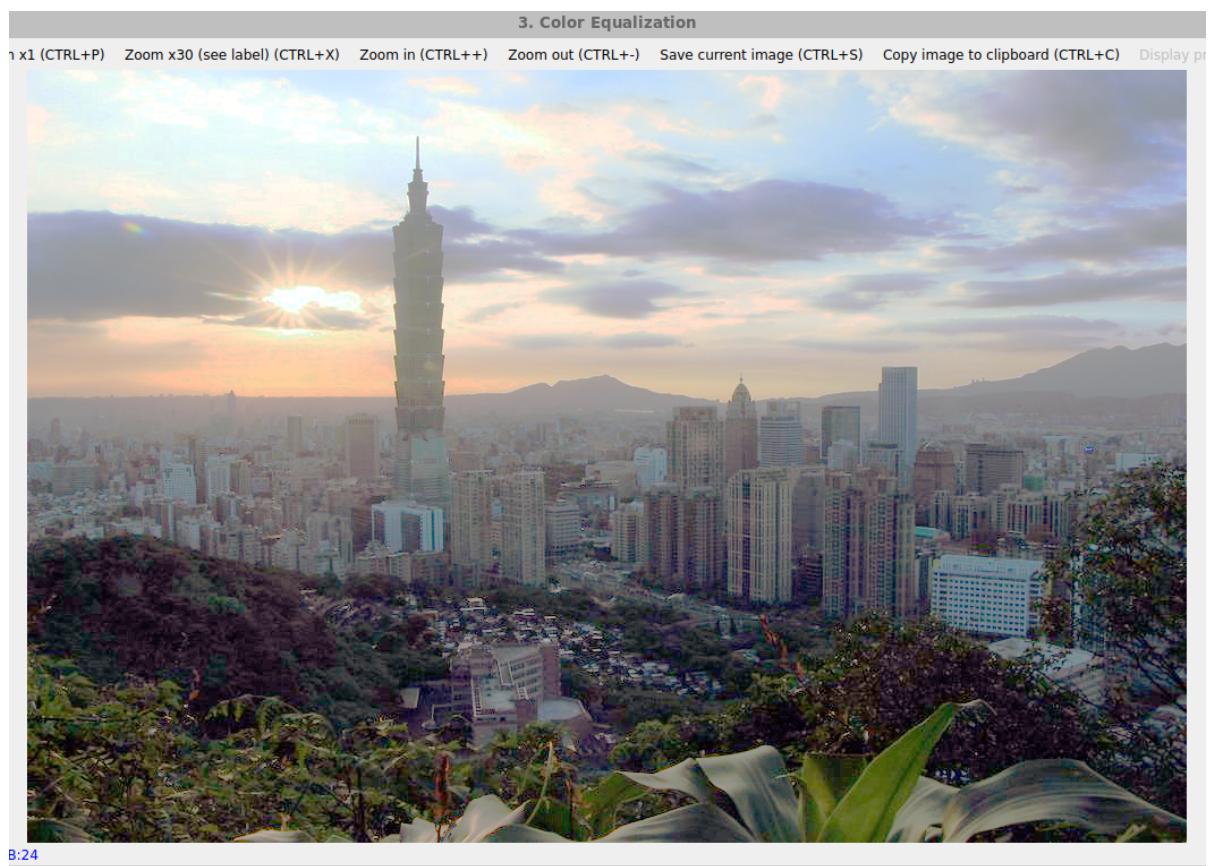
均衡化后的图片：



从上面两张图可以看到：归一化直方图，灰度集中在低区间，图像偏暗、对比度低，而均衡化后的直方图，灰度分布明显更均匀，原本集中的低灰度被“拉伸”到了更宽的范围，更加明亮

### 3. 彩度图像直方图均衡处理

对彩色图像均衡化后的图片：



从原图和均衡化后的图片进行对比可得：原图画面存在明显的明暗分层，下方植被根本看不清；而均衡化后的图片变得更清晰，下方原本黑暗的植物变得明亮清晰，有效提升彩色图像的细节，让暗部的隐藏信息显现