

直方图均衡化实验

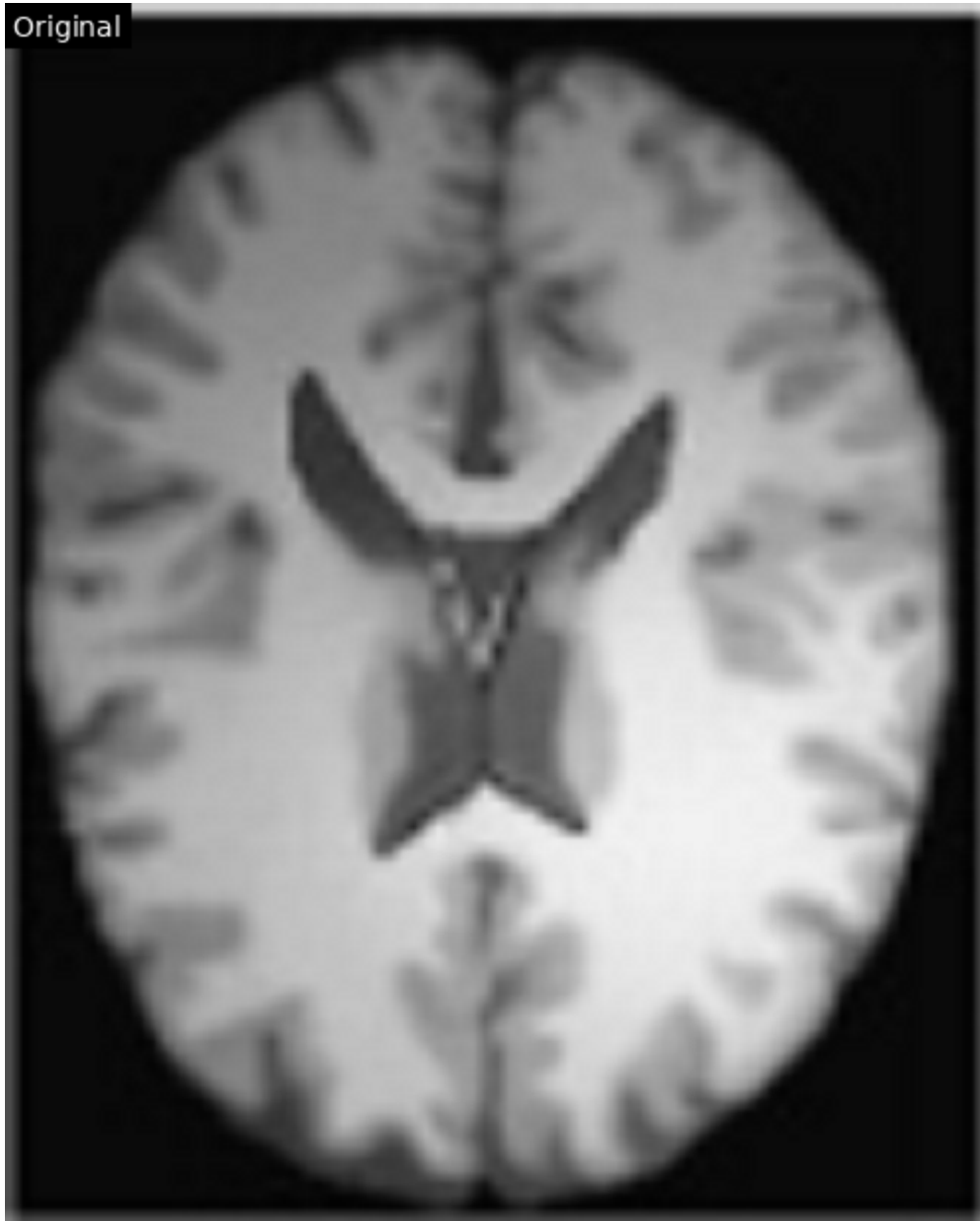
源图像：`origin.png`

算法原理

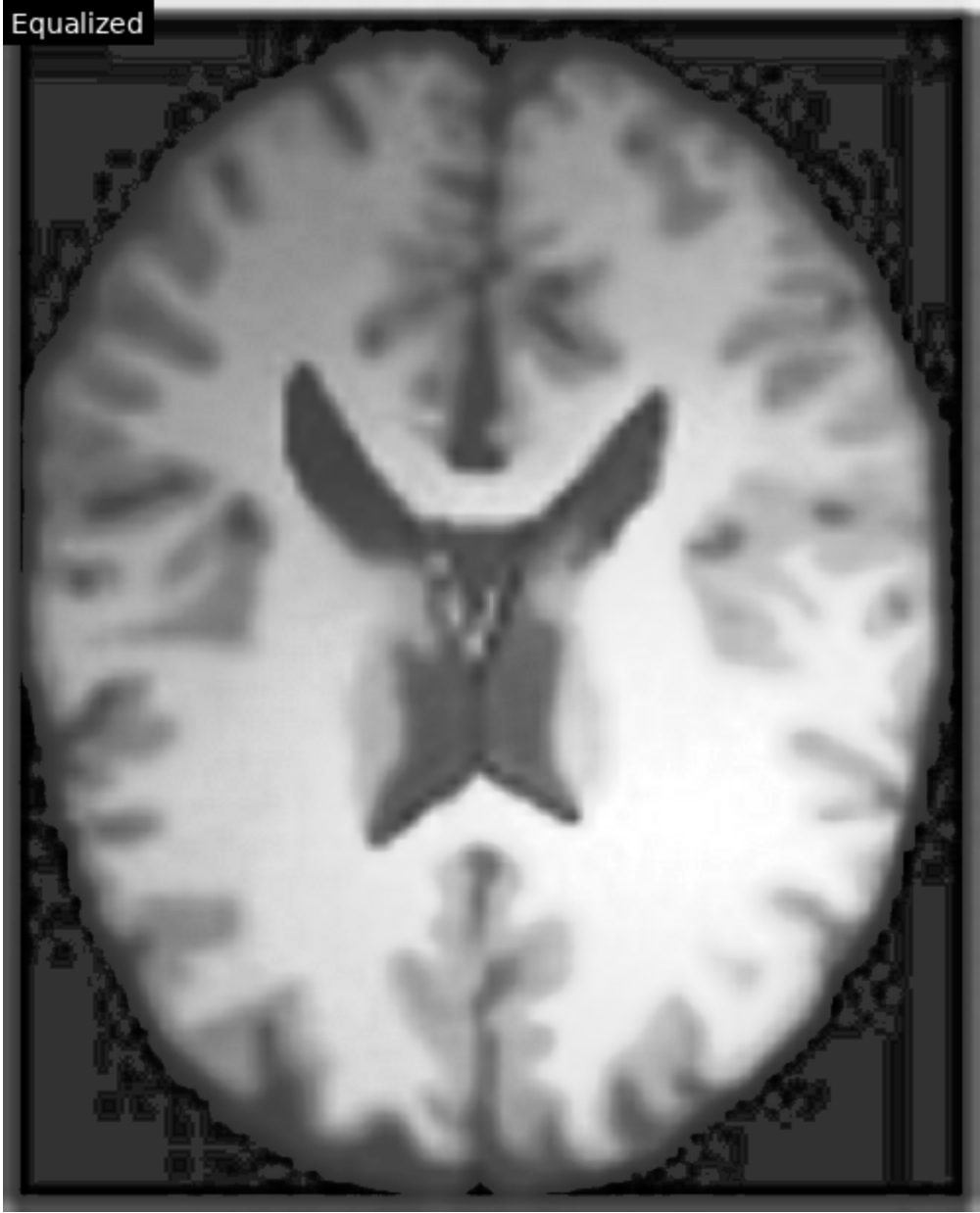
- 目标：通过对灰度级的累计分布函数（CDF）进行线性拉伸，使输出图像的灰度分布更均匀，从而增强对比度。
- 步骤：
 1. 统计直方图得到各灰度级计数 $h(k)$ ；
 2. 计算累计直方图 $cdf(k)=\sum_{i=0}^k h(i)$ ；
 3. 构建映射 $s(k)=round((cdf(k)-cdf_{\{min\}})/(N-cdf_{\{min\}})*255)$ （其中 N 为像素总数） ；
 4. 用查找表对原图每个像素进行映射，得到均衡化结果。

实验结果

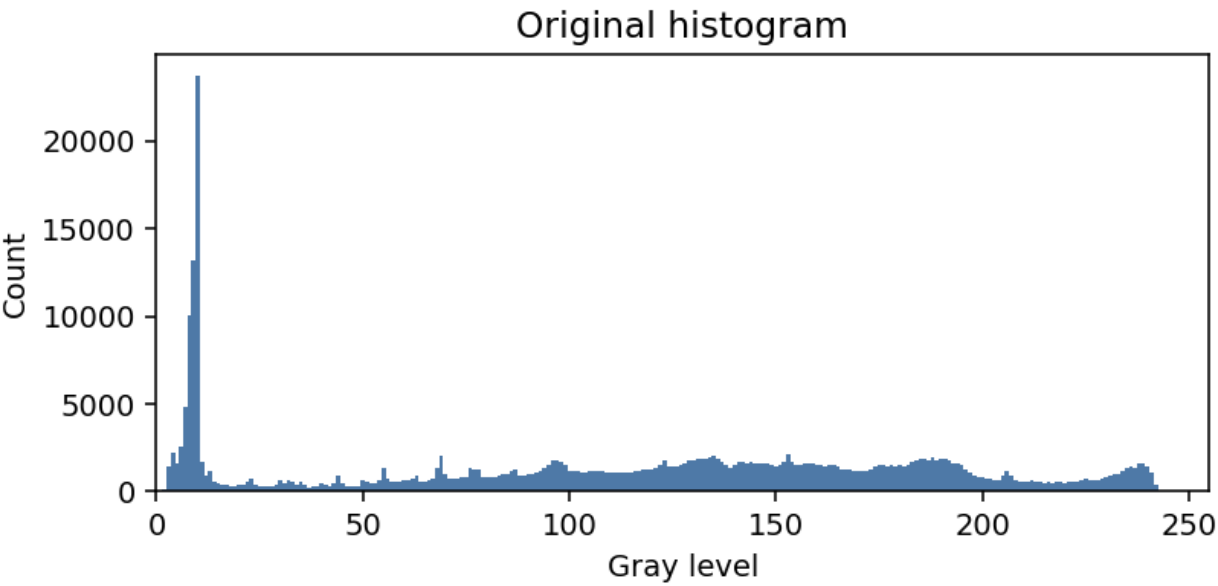
- 原图像：



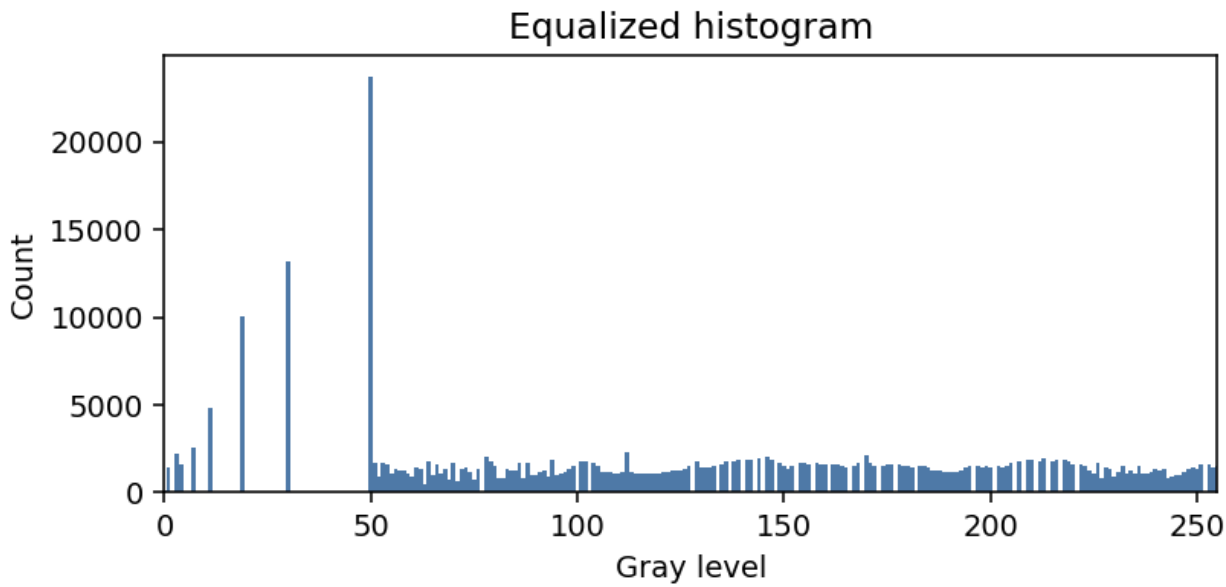
- 均衡化后图像：



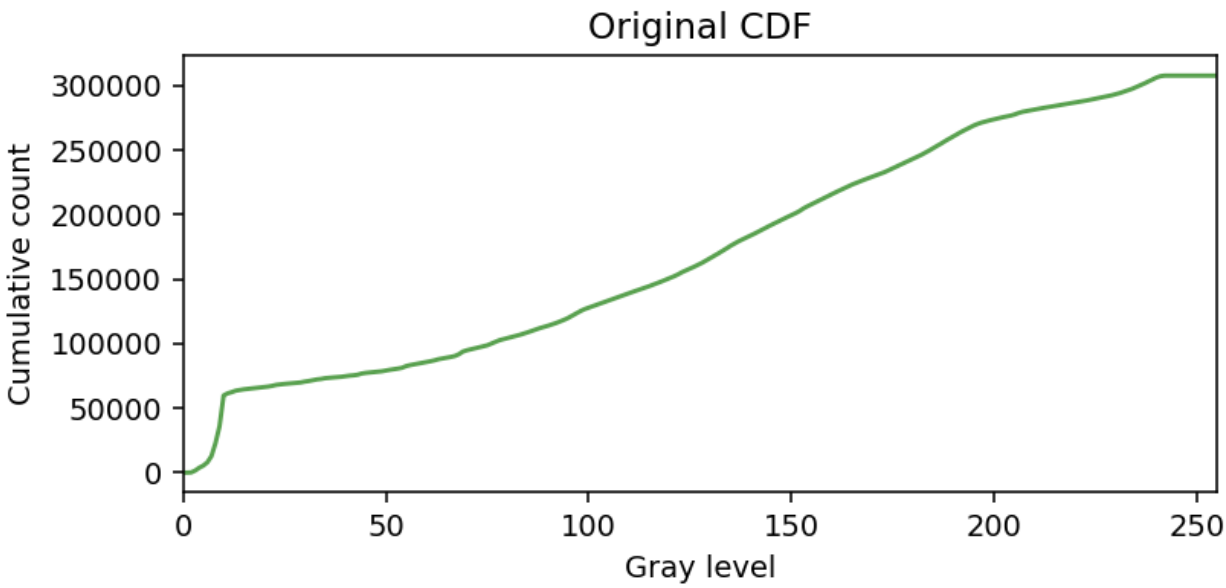
- 原图灰度直方图：



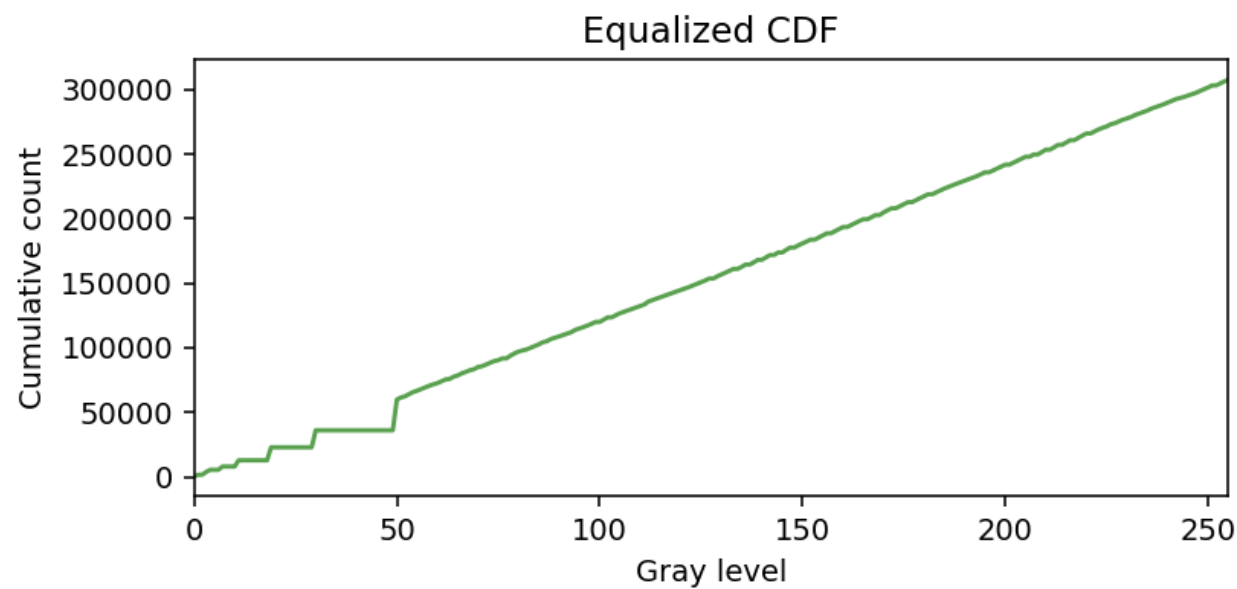
- 均衡化后灰度直方图：



- 原图累积直方图（CDF）：



- 均衡化后累积直方图（CDF）：



观察与分析

- 均衡化后，灰度直方图更为分散，暗部与亮部的可见细节得到增强。
- CDF 从更陡的阶梯形状变得更接近线性上升，说明灰度利用更充分。
- 低对比区域：局部暗背景与细微结构更易分辨，但可能伴随噪声放大与纹理粗糙化。
- 高对比边缘：边缘更清晰，但在量化较粗或压缩失真存在时可能出现轻微过冲/光晕。
- 亮度感知：全局均衡化可能改变整体亮度主观感受，可与线性拉伸或窗宽/窗位结合以控制亮度与对比度平衡。
- 定量观察：直方图熵（Shannon entropy）通常上升，表明灰度利用率提升；但熵增并不必然意味着关键结构的可判读性提高，需要结合任务评价。
- 局限性：全局映射对整幅图一视同仁，易在背景或低信噪区域过度增强噪声。医学影像中常用自适应直方图均衡（CLAHE）设定 clip limit 以抑制过增强。
- 适用场景：照度不均或整体对比度偏低的图像改善明显；不适用于原始对比度已较好或噪声主导的图像。
- 实践建议：优先在感兴趣区域（ROI）内尝试均衡化，或先进行去噪/直方图裁剪；若需全局增强，建议尝试 CLAHE 并调小 tile size 与 clip limit。