双边滤波说明

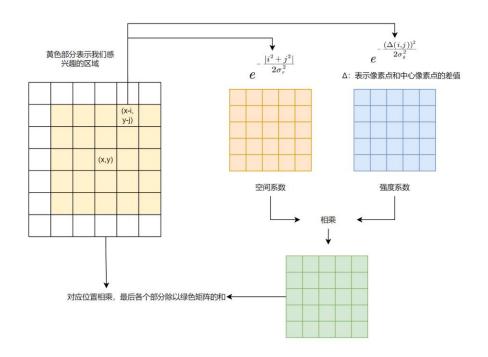
对于一个像素, 双边滤波计算公式如下:

$$BF[I]_{\mathbf{p}} = \frac{1}{W_{\mathbf{p}}} \sum_{\mathbf{q} \in \mathcal{S}} G_{\sigma_{\mathbf{s}}}(\|\mathbf{p} - \mathbf{q}\|) G_{\sigma_{\mathbf{r}}}(|I_{\mathbf{p}} - I_{\mathbf{q}}|) I_{\mathbf{q}}, \tag{3}$$

where normalization factor $W_{\mathbf{p}}$ ensures pixel weights sum to 1.0:

$$W_{\mathbf{p}} = \sum_{\mathbf{q} \in \mathcal{S}} G_{\sigma_{\mathbf{s}}}(\|\mathbf{p} - \mathbf{q}\|) G_{\sigma_{\mathbf{r}}}(|I_{\mathbf{p}} - I_{\mathbf{q}}|). \tag{4}$$

图例解释:



实现流程, 主要是两个部分: 空间系数和强度系数

1. 空间系数

用户设置有一个参数为窗口大小,要求只能为3*3、5*5、7*7。

公式中有另一个参数:空间标准差,即上图的 σ_r 。这个参数不需要用户输入,因为当标准差乘以 6 和窗口直径接近的时候效果较好,所以可以直接通过用户输入的窗口大小计算得到。

根据用户输入的窗口,空间系数可以直接选择为下面的对应数据:

					1	4	7	4
1/16	1	2	1	1/273	4	16	26	16
	2	4	2		7	26	41	26
	1	2	1		4	16	26	16
					1	4	7	4

	0	0	1	2	1	0	0
	0	3	13	22	13	3	0
	1	13	59	97	59	13	1
1/1003	2	22	97	159	97	22	2
	1	13	59	97	59	13	1
	0	3	13	22	13	3	0
	0	0	1	2	1	0	0

2. 强度系数

用户设置有一个参数为强度标准差,即示意图的 σ_a 。

以像素为 12bit 为例,两个像素值之差的绝对值 Δ 最大为 4095,所以运算 Δ 为 0-4095 时的结果,即上图中的 $e^{-\Delta(i,j)^2/2\sigma_g^2}$,计算后存储入 LUT。该步骤不应该让 FPGA 实现,应该事先存储形成一个文件,或者 MCU 来完成。真正图像处理时,根据 Δ (像素点和中心像素点的差值) 进行查表,得到对应系数后进行后续计算。

1

7

此外,如果为了节省资源,像素值之差可以进行简单的量化,比如每次算完像素差之后除以 16,这样用256个值代替4096。

3. FPGA 处理

● 黑白图片:正常按照图例流程即可

● 彩色图片:每个颜色都要执行一次操作,注意每个颜色计算时用到的像素差是红绿蓝的平均值(或者使用YUV中的Y,其他模块有过计算,如果可以复用则使用Y最好),这也意味着红绿蓝的像素差都是一样的。切记不要使用每个颜色各自的像素值 s。

第2步的 MCU 计算表的举例, 称这张强度表叫 G表, 假设他是64个6bit数目:

先认为 G 表是浮点数,这样 $G[i] = e^{-(64 \times i)^2/(2 \times (16 \times \sigma)^2)}$,解释一下分子和分母:分子是因为 G 表压缩成只有 64 个,不压缩即最真实的时候是 4096 个,4096/64=64,所以对于 G 表的第 x 项,放在实际中应该是 (64*x)。分母是因为 σ 压缩成 0-255,不压缩最真实的时候也是 4096(即需要保证 σ 可取范围能达到 Δ 最大值),所以对于用户输入的 σ ,放在实际中应该是 (16* σ)。

化简得到 $G[i] = e^{-8(i/\sigma)^2}$,而由于我们存储的是 6bit,因为 G 表正常范围是 0-1,所以这里就是 乘以 63 即可。

提供了 FPGA 模拟双边滤波的 python 实现,有快速版和慢速易懂版。

3*3 大小的双边滤波实现流程

不需要看这里的文档,该文档已作废。

用户输入一个参数:强度系数的标准差,以下用 sigma 来代替。

有三个参数控制 LUT 大小: 位宽 x、G 表缩放值 Gs、W 表缩放值 Ws。其中 S 表示位宽 x 最大数加一, 如 x 为 g 对 g 对 g

1. MCU 计算强度系数 LUT 表,设其为 G,大小为【4096/Gs】,值的位宽为 x bit。计算方式:从 0 到 4096 按照如下公式计算,假设当前索引值是 i:

$$G[i] = (S-1) \times e^{-\frac{1}{2}(\frac{Gs \times i}{sigma})^2}$$

2. MCU 计算权重系数 LUT 表,设其为 W, W 的大小为【12*S/Ws】, 值的位宽为 x-2 bit。

$$W[i] = \frac{S \times S}{Ws \times i + 4 \times S} - 1$$

3. 数据传入 FPGA, 开始计算:

```
# 空间固定 3x3, 注意中间变成了 0
F = np.array([[1, 2, 1], [2, 0, 2], [1, 2, 1]])
new_img = np.zeros(img.shape)
for i in range(1, img.shape[0]-1):
   for j in range(1, img.shape[1]-1):
       # 和中心的差值
       D = np.abs(img[i-1:i+2, j-1:j+2] - img[i, j])
       # 高斯和颜色相乘
       now_W = F * G[D//Gs]
       b = np.sum(now_W)
       if b == 0:
        new_img[i, j] = img[i, j]
       else:
          # 分母
           a = np.sum(now_W * img[i-1:i+2, j-1:j+2]) + img[i, j]*4* S
           # 分子, +1 是因为事先计算 W 的时候减了 1 (否则最大值为S/4,溢出)
           b = W[b//Ws] + 1
           new_img[i, j] = a * b / (S * S)
return new img
```

- 4. LUT 需要 $\frac{4096}{Gs} imes (x) + \frac{2^x}{Ws} imes (x-2)$ bit
- 5. 代码在 Denoise 目录中,BF_FPGA.py