

数字图像处理大作业 3——图像去雾

郭明皓 2014011529

一、背景介绍

近年来，国内的雾霾天气逐渐由中、东地区向全国蔓延。研究如何对尘雾等恶劣天气条件下获得的退化图像进行有效地处理，对大气退化图像的复原和景物细节信息的增强有着非常重要的现实意义。雾天下图像的清晰化技术有可能对其他恶劣天气条件下图像的清晰化技术也起到促进作用，从而促使全天候视觉系统排除天气状况的干扰和影响。此方面技术的研究有着很大应用前景。

在图像去雾领域，[1]这篇何凯明博士的 2009 年 CVPR best paper 十分著名，其创新性的使用暗通道先验，并通过导向滤波[2]对结果图进一步优化。本文将根据论文中算法描述对程序进行复现，并通过对比其他方法（如不同变换空间下的饱和度调整等）分析优劣。

二、方法原理说明

1. 暗通道先验

在绝大多数非天空的局部区域里，某一些像素总会有至少一个颜色通道具有很低的值。换言之，该区域光强度的最小值是一个很小的数。

暗通道的数学定义如下，对于任意的输入图像 J ，其暗通道可以用下式表示：

$$J^{dark}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in \{r, g, b\}} J^c(y) \right)$$

式中 J^c 表示彩色图像的每一个通道， $\Omega(x)$ 表示以像素 x 为中心的一个窗口。

暗通道先验的理论指出：

$$J^{dark} \rightarrow 0$$

实际生活中造成暗原色中低通道值主要有三个因素：a) 汽车、建筑物和城市玻璃窗户的阴影，或者是树叶、树与岩石等自然景观的投影；b) 色彩鲜艳的物体或表面，在 RGB 的三个通道中有些通道的值很低；c) 颜色较暗的物体或者表面，例如灰暗色的树干和石头。总之，自然景物都是阴影或者彩色，这些景物的图像的暗原色总是很灰暗的。

2. 去雾模型

在计算机视觉和计算机图形学中，下述方程所描述的雾图形成模型被广泛使用：

$$I(x) = J(x)t(x) + A(1 - t(x))$$

其中， $I(x)$ 是我们现在已经有的图像（待去雾图像）， $J(x)$ 是要恢复的无雾图像， A 是全球大气光成分， $t(x)$ 为透射率。现在已知条件是 $I(x)$ ，要求目标值 $J(x)$ 。根据先验，对上式进行一系列处理变形。

$$\frac{I^c(x)}{A^c} = t(x) \frac{J^c(x)}{A^c} + 1 - t(x)$$

上标 c 表示 RGB 三个通道。

假设在每一个窗口内透射率 $t(x)$ 为常数，定义为 $\tilde{t}(x)$ ，并且 A 值已经给定，然后对上式求两次最小值运算，得到下式：

$$\min_{y \in \Omega(x)} (\min_c \frac{I^c(y)}{A^c}) = \tilde{t}(x) \min_{y \in \Omega(x)} (\min_c \frac{J^c(y)}{A^c}) + 1 - \tilde{t}(x)$$

上式中，J 是待求的无雾图像，根据前述的暗通道先验理论有：

$$J^{dark}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} (\min_c J^c(y)) = 0$$

因此可推导出

$$\min_{y \in \Omega(x)} (\min_c \frac{J^c(y)}{A^c}) = 0$$

从而得到：

$$\tilde{t}(x) = 1 - \min_{y \in \Omega(x)} (\min_c \frac{I^c(y)}{A^c})$$

这就是对透射率 $\tilde{t}(x)$ 的预估值。

上述推论中都是假设全球大气光 A 值是已知的，在实际中，我们可以借助于暗通道图来从有雾图像中获取该值。具体步骤如下：

- 1) 从暗通道图中按照亮度的大小取前 0.1% 的像素；
- 2) 在这些位置中，在原始有雾图像 I 中寻找对应的具有最高亮度的点的值，作为 A 值。

当透射图的 t 值很小时，会导致 J 的值偏大，从而使得图像整体偏白。因此一般可以设置一个阈值 T_0 ，当 t 值小于 T_0 时，令 $t = T_0$ 。

因此，最终的恢复公式如下：

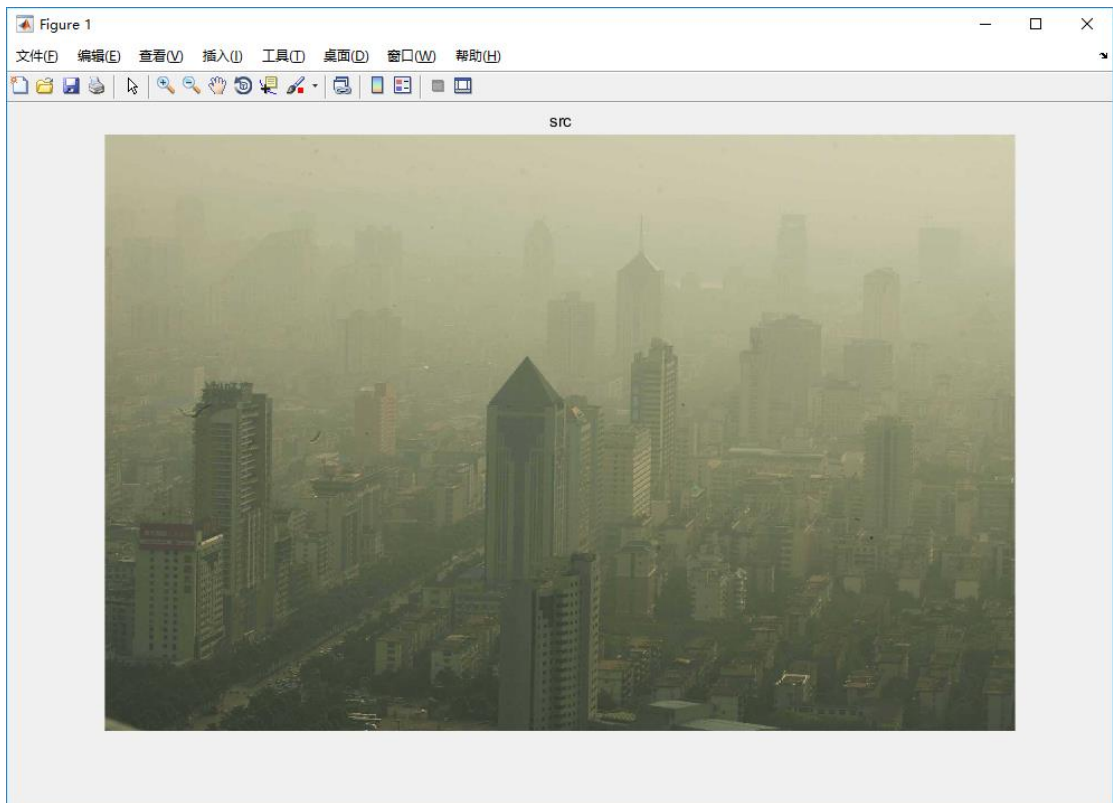
$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x), T_0)} + A$$

3. 导向滤波

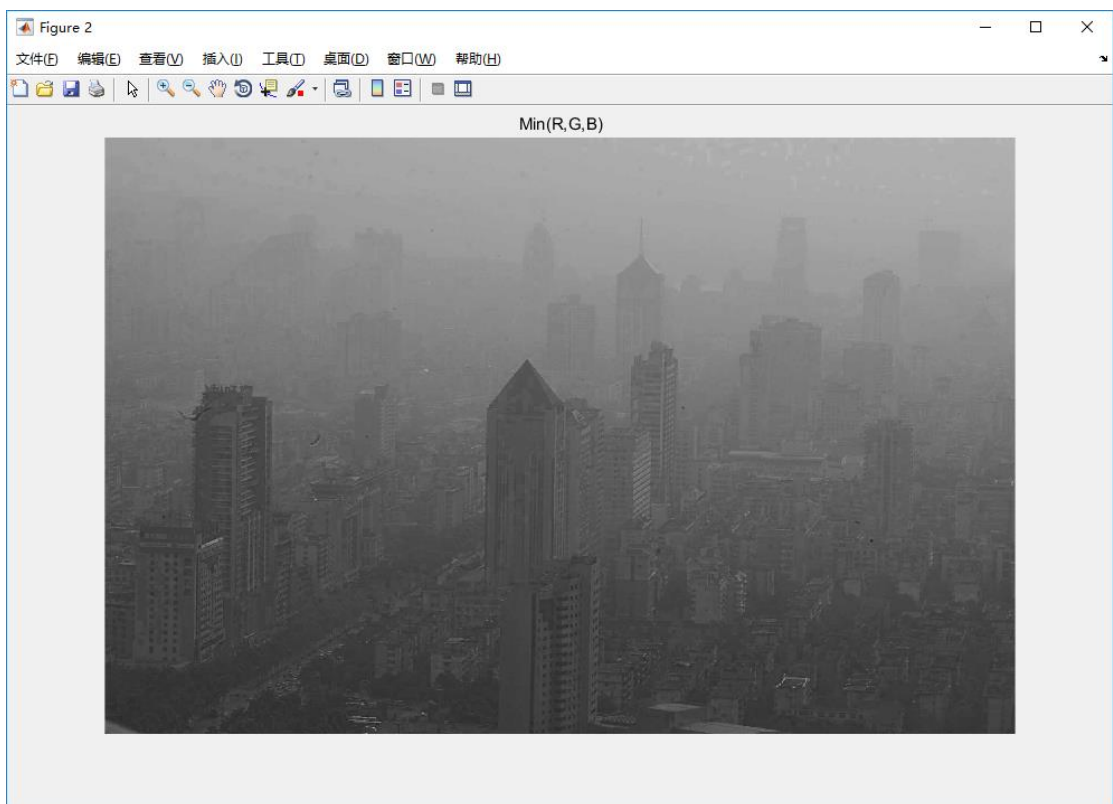
按照 2 中步骤恢复出来的图像效果已经不错，但由于求解的透射率图过于粗糙，导致恢复图可能会存在不协调的部分。为了获得更为精细的透射率图，何凯明博士在文章中提出了 soft matting 方法，能得到非常细腻的效果，但是运算速度过于缓慢。在 [2] 中，何凯明博士提出了导向滤波的方法来获得较好的透射率图。该方法的主要过程集中于简单的方框模糊，而方框模糊有多重和半径无关的快速算法。因此，算法的实用性强。

三、 算法设计

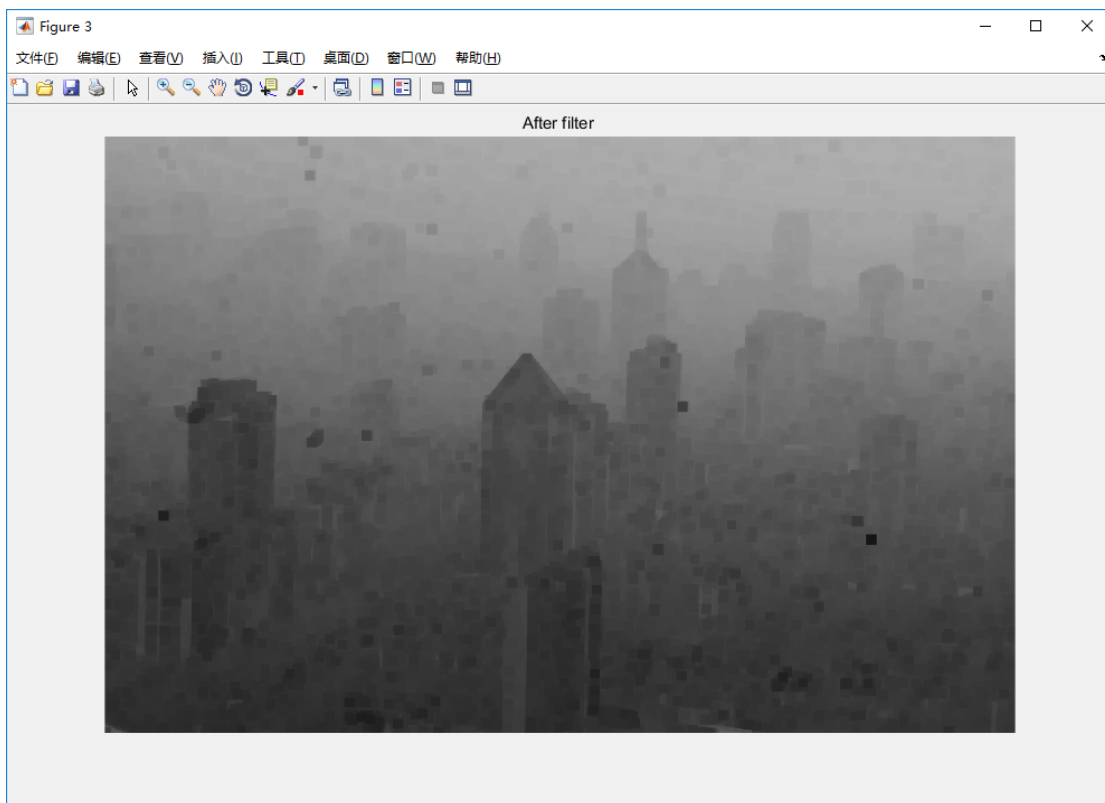
原始图像：



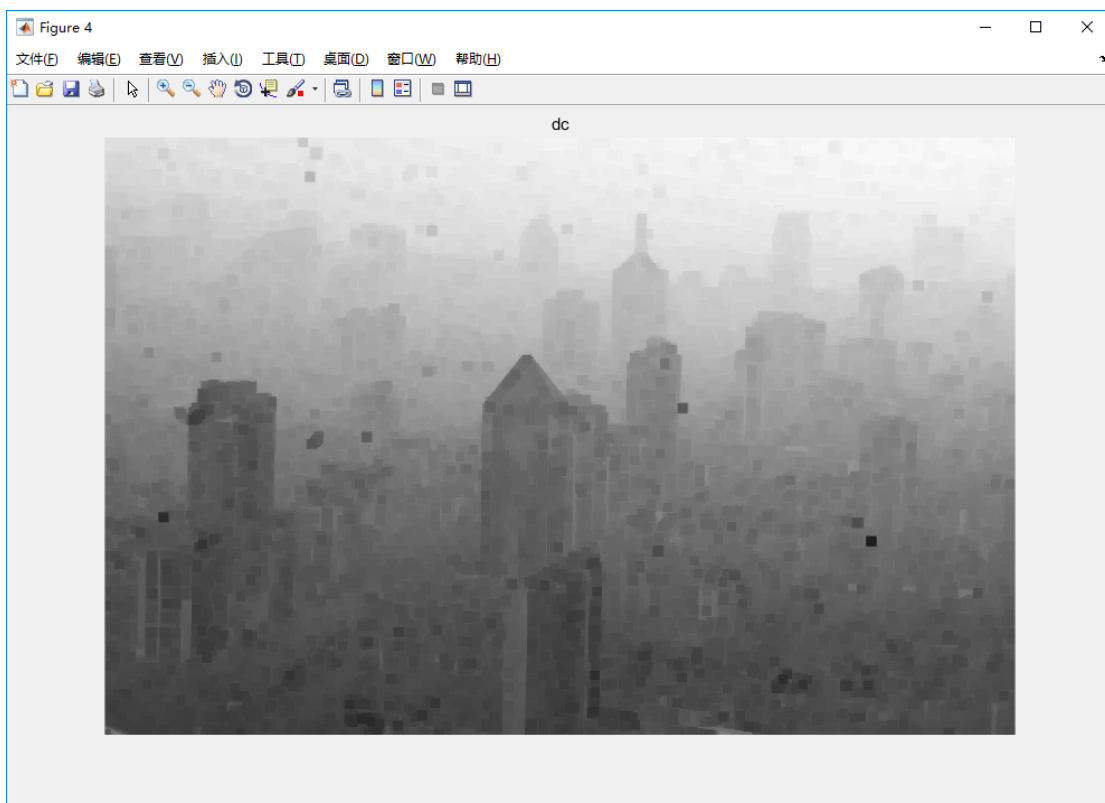
求取的暗通道图:



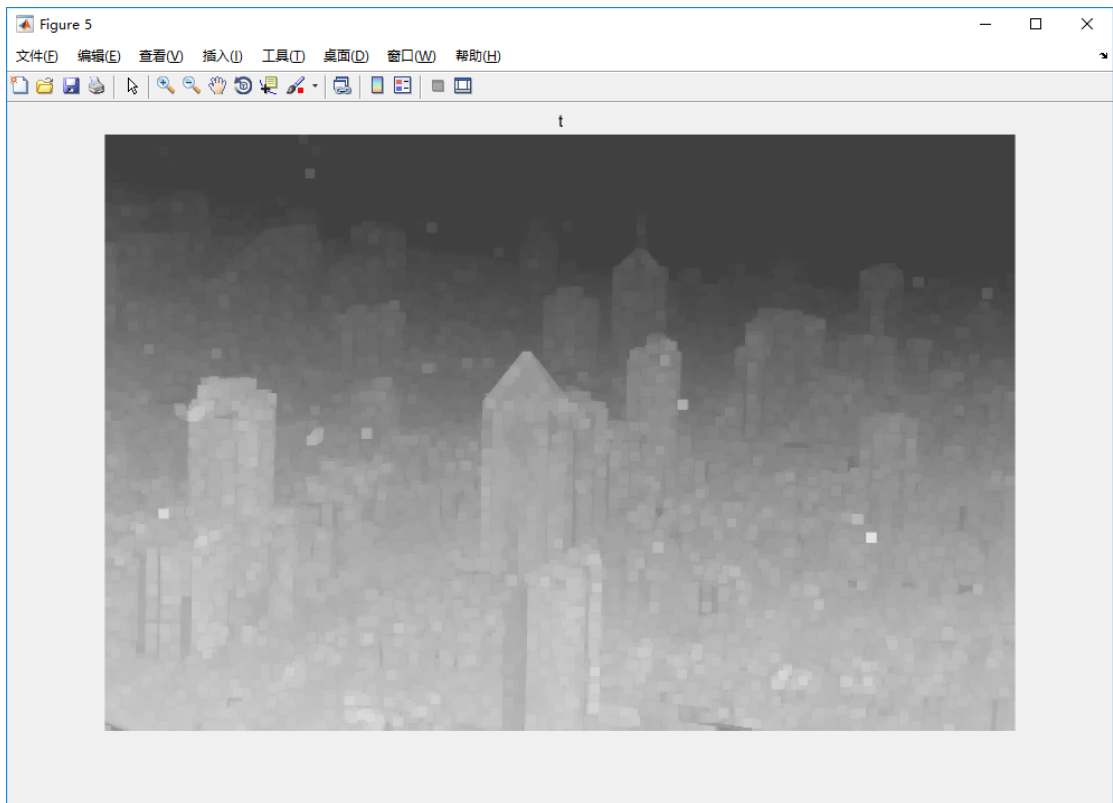
对暗通道图进行滤波处理，所选的窗口大小为 $\max(0.01 \cdot h, 0.01 \cdot w)$ ，其中 h, w 分别为原始图像的长和宽：



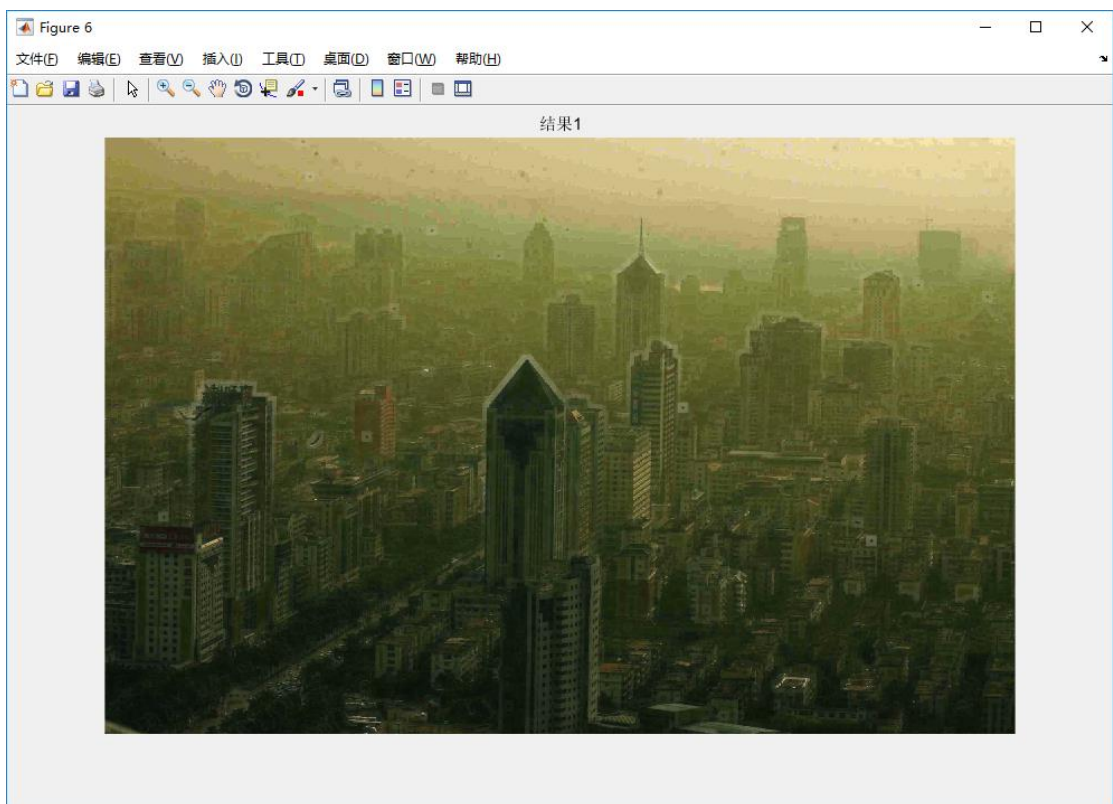
求取中间步骤 $\min_{y \in \Omega(x)} (\min_c \frac{I^c(y)}{A^c})$, 得到下图:



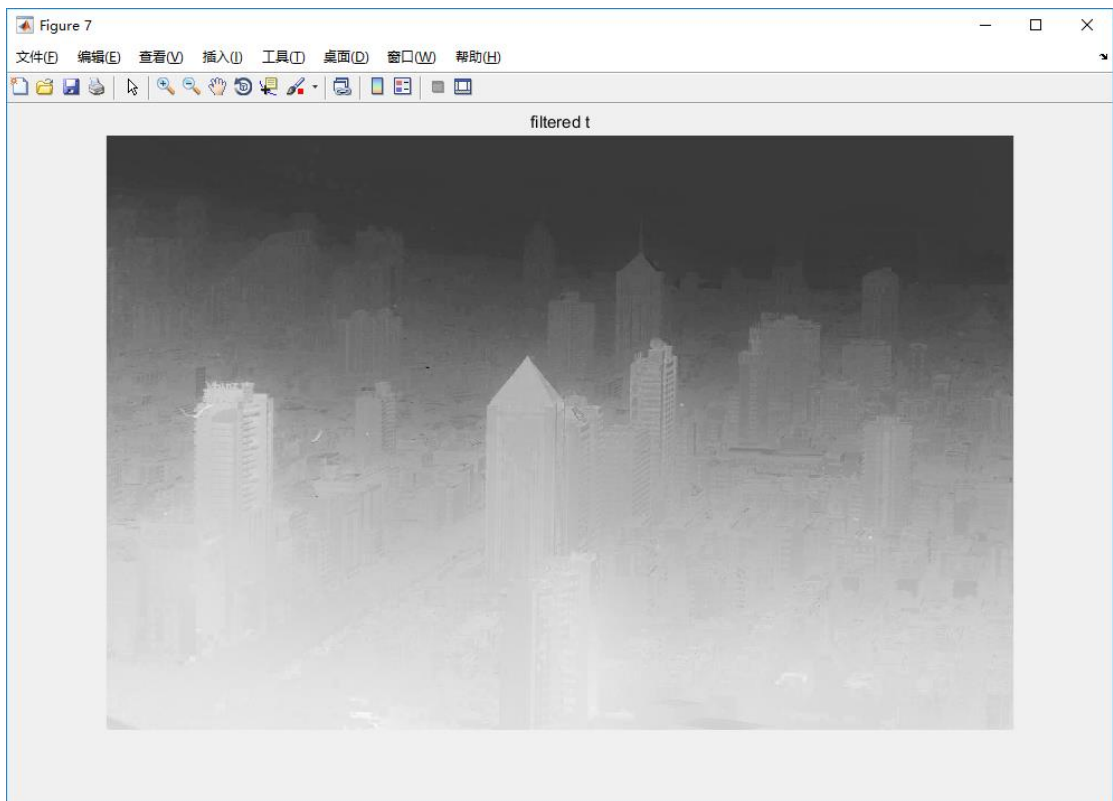
根据上图得到透射率图 t :



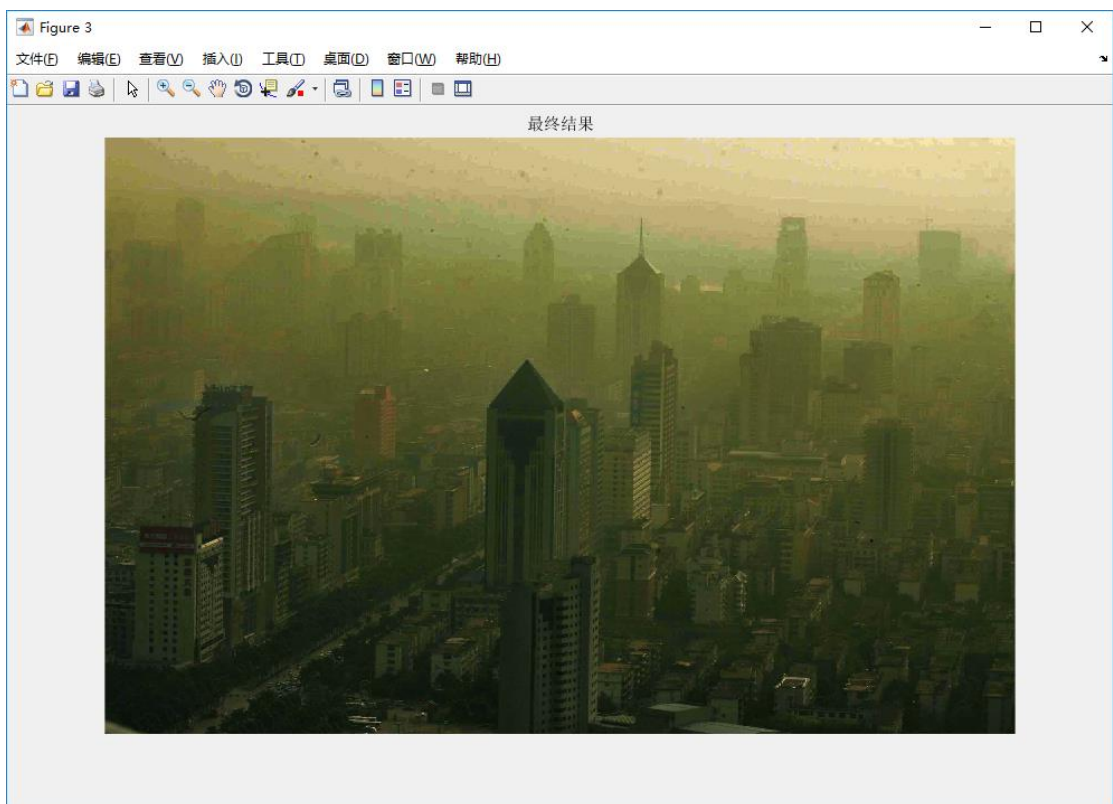
通过上面的透射率图，去雾效果如下：



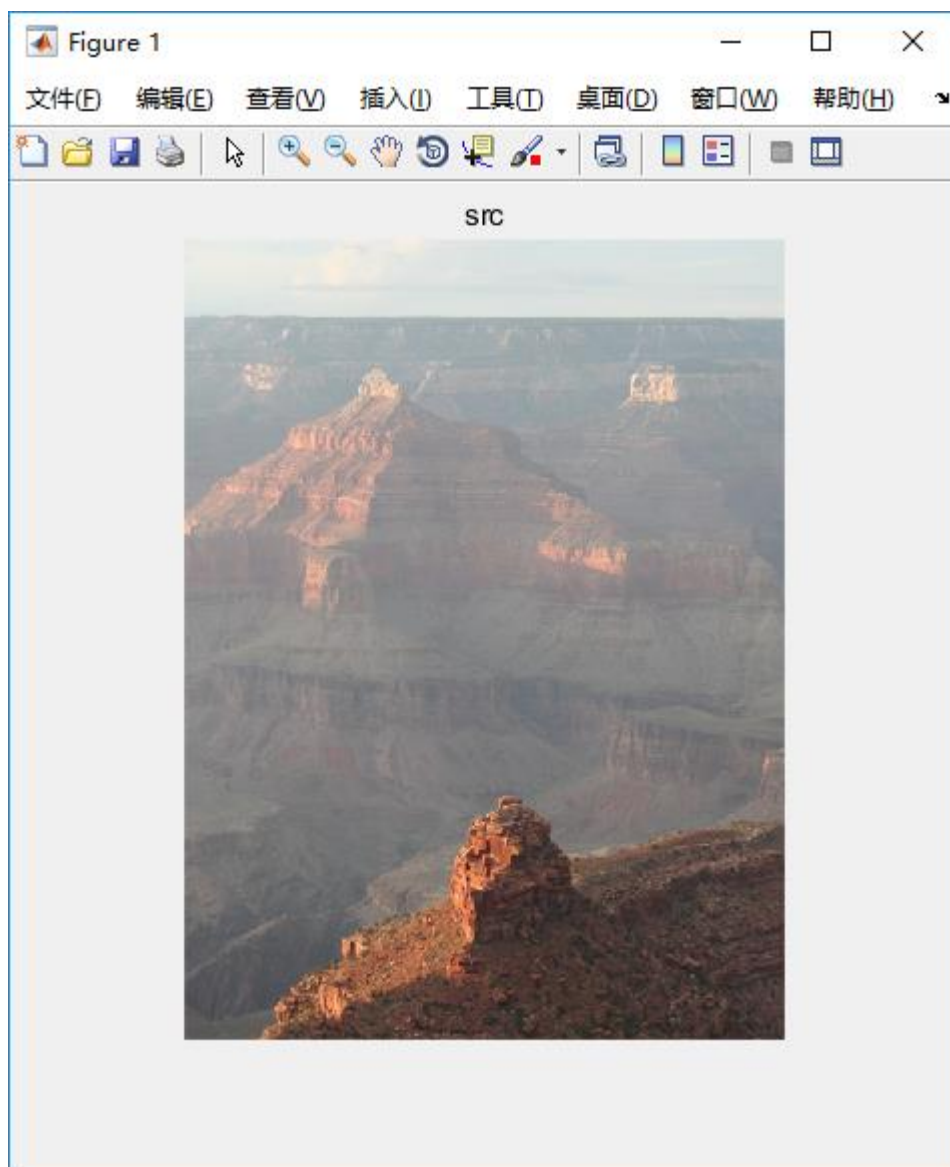
使用导向滤波估计的透射率图：

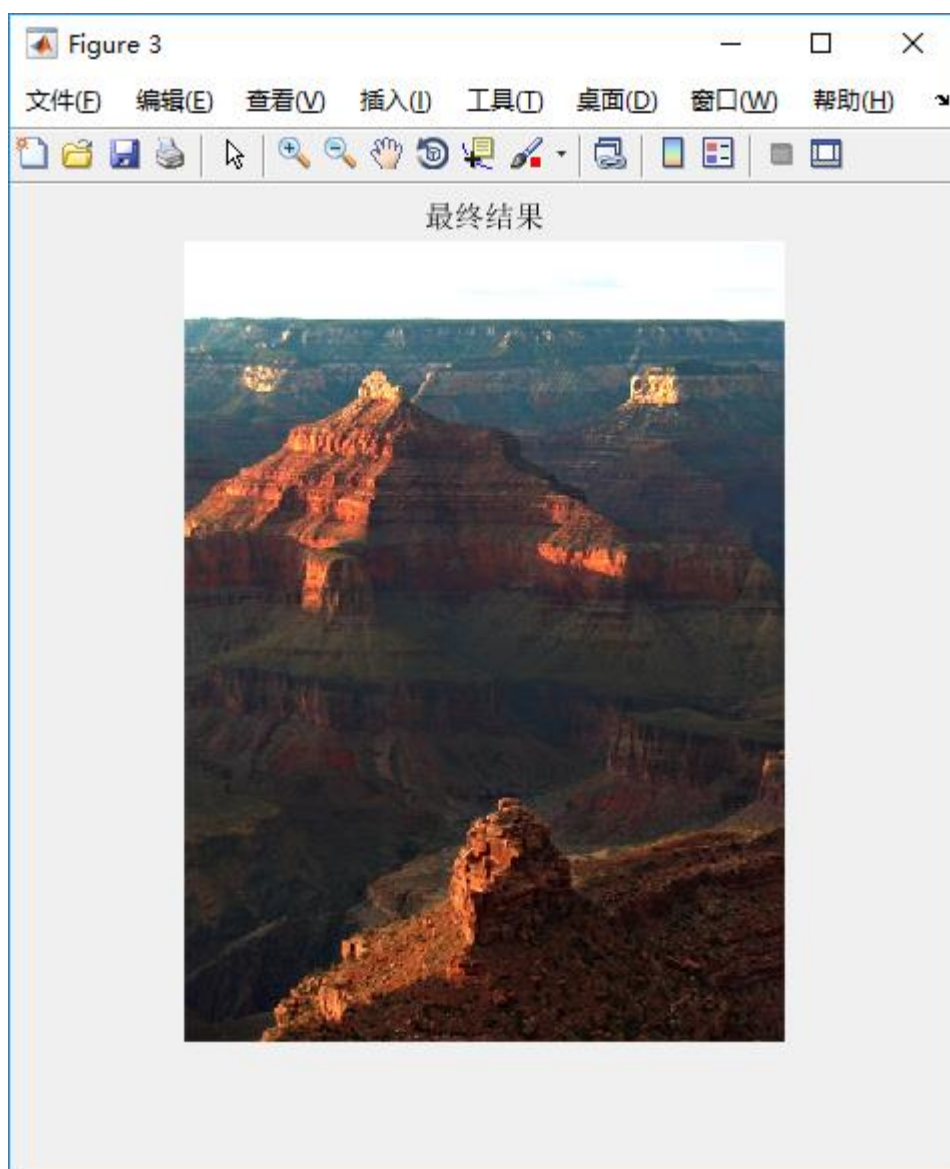


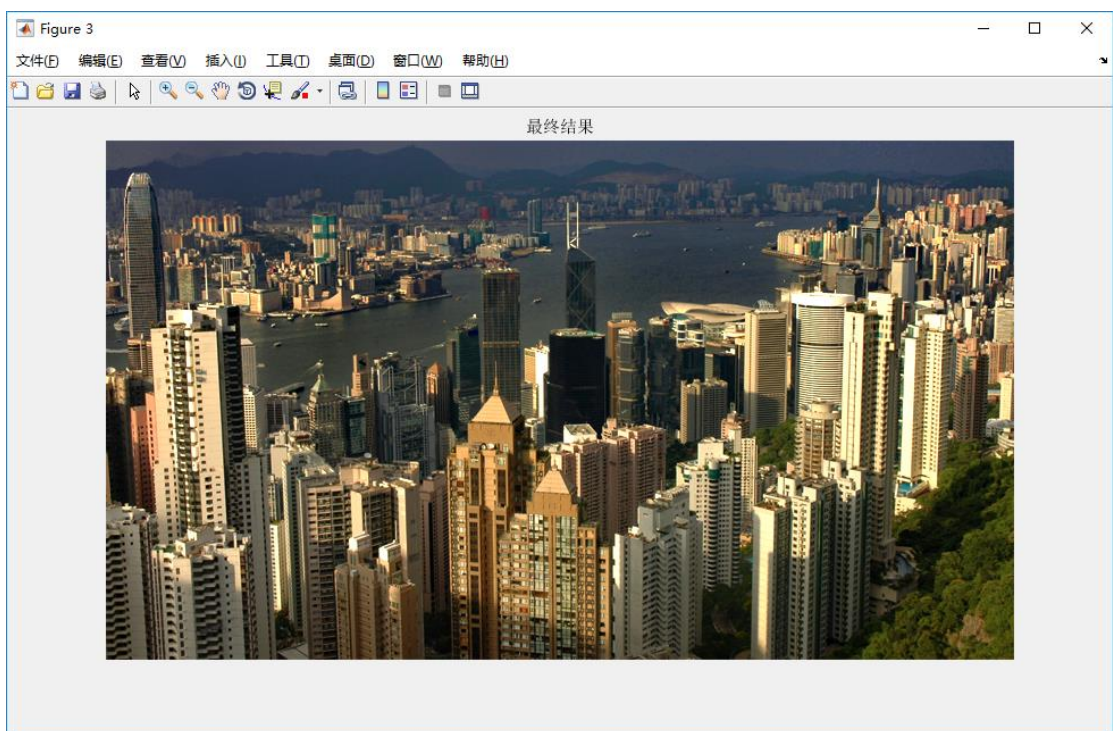
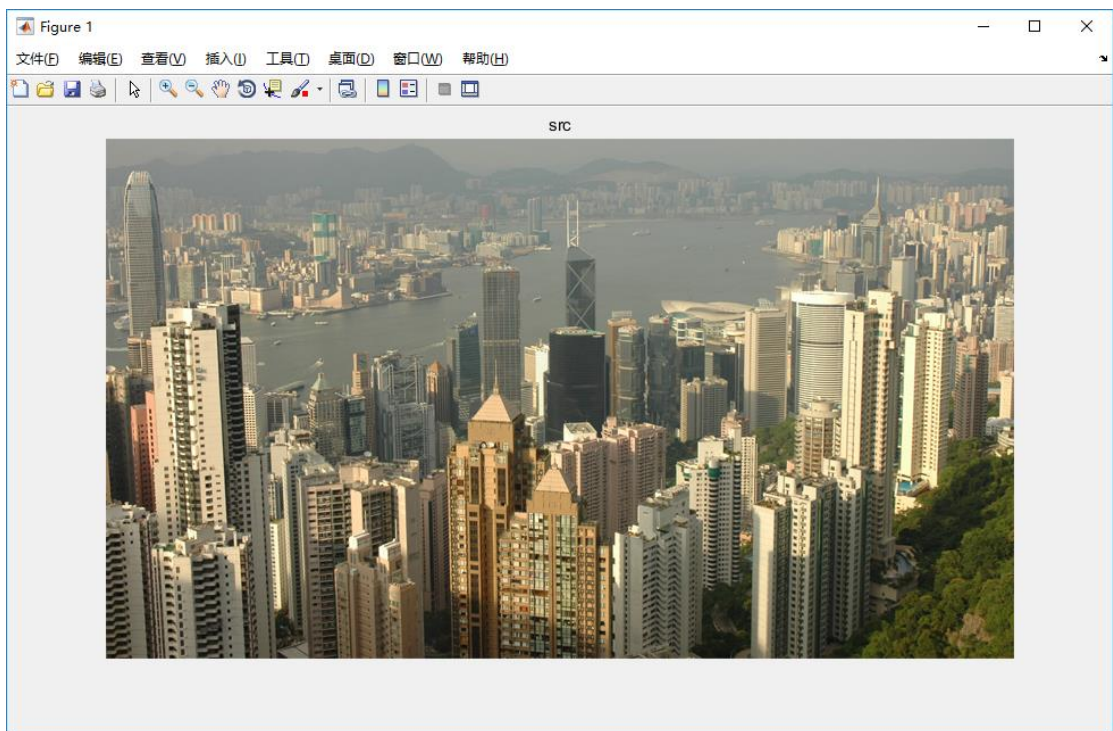
从而估计得到的最终结果：



除此图之外，我用此算法运行了其他有雾图，效果如下图（共 9 张图片，此处只展示 2 张）：

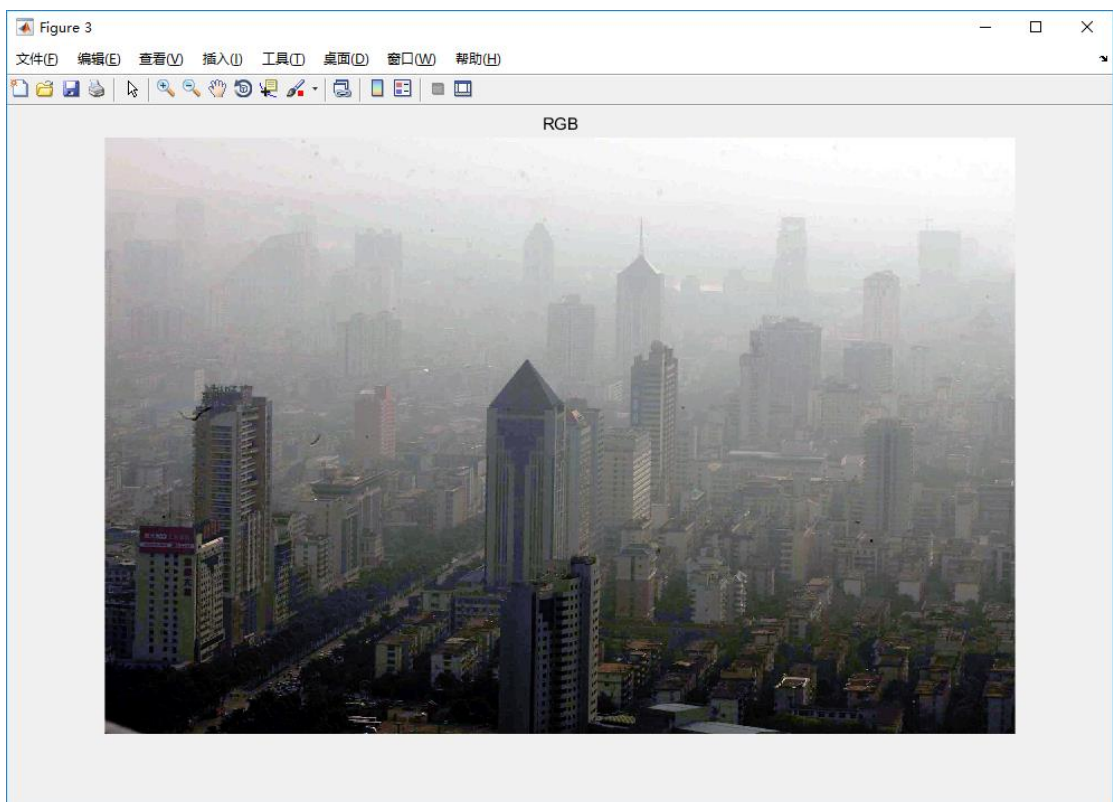
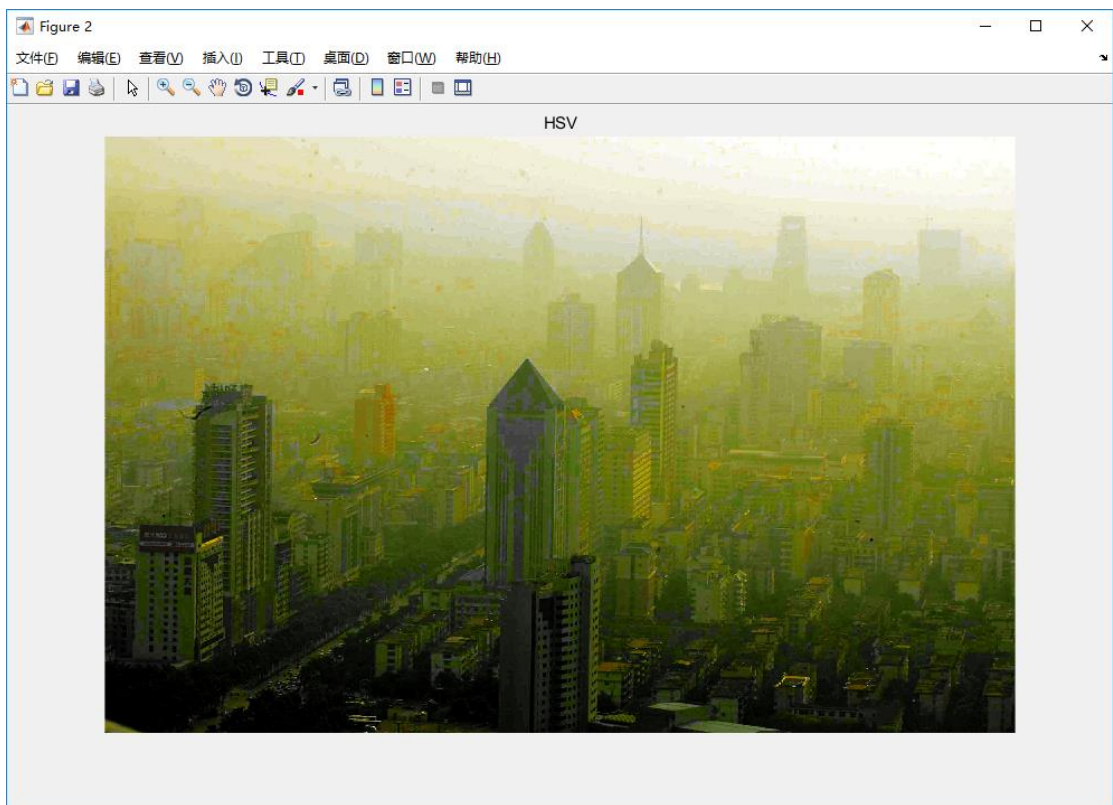


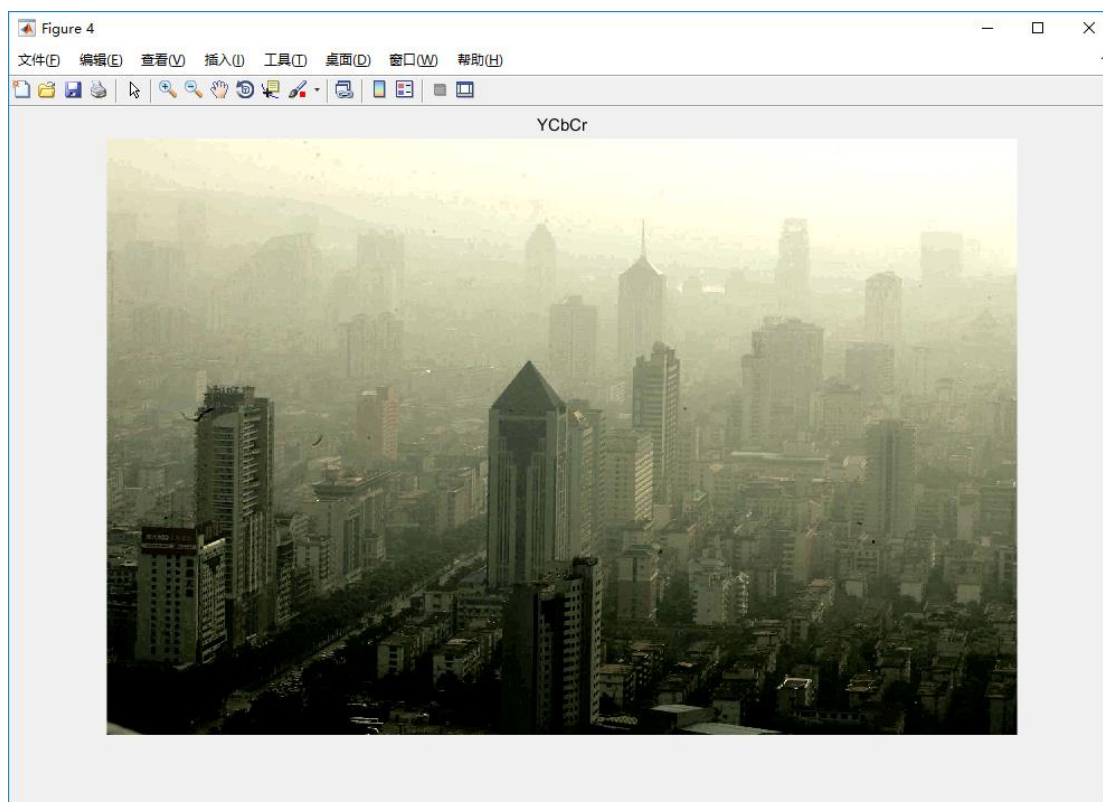




四、 与其他方法对比

本文又采用了三种去雾方法，分别是饱和度与亮度均衡化处理、RGB 三通道均衡化处理、YCbCr 亮度均衡化处理。结果图如下：





通过对比发现，对图像在不同空间下进行均衡化处理，得到的效果各有差异，不过对雾的处理效果都不及暗通道先验方法。归根到底，均衡化的方法都没有提取雾的特点并进行分离，而雾在不同的空间下均有值，这就导致在均衡化去雾的过程中，必定会使图像某一空间的值有损失，从而使图像失真。而暗通道先验的方法充分利用了无雾图像的暗通道下趋于 0 的特点，实现了对雾的分离。

五、 遇到的问题及解决办法

利用暗通道先验方法对助教所给的图像去雾后，发现图像整体偏黄，我尝试通过调整参数，并借鉴[3]中的一些方法对程序改进，发现效果还是不好。后来在用相同的方法处理其他图像时，发现效果很好。分析原因，可能是助教所给图像中有较大成分的霾，而且雾霾过重导致远处的一些景物可利用信息很少。

六、 参考资料

[1] He K, Sun J, Tang X. Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2010, 33(12):2341-2353.

[2] He K, Sun J, Tang X. Guided Image Filtering[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2013, 35(6):1397-409.

[3] <http://blog.csdn.net/occupy8/article/details/40322683>