

具体算法：

### 1 柑橘目标区域提取

在对柑橘进行识别时，首先需要将目标柑橘从背景中分离出来，并去除提取过程中可能产生的一些噪声和非目标区域。

#### 1.1 YUV 颜色空间选取

实景下成熟柑橘和周围环境的颜色区别明显，本文选用 YUV 模型提取出柑橘目标区域。

为了避免光照强度对柑橘识别的影响，分别提取 U、V 两通道的图像对比可知，V 通道的柑橘和背景色相差更大，故选取 YUV 模型的 V 分量进行图像分割。图 1 分别为分离出的 Y、U、V 通道的图像和增加目标图像以及背景对比度后的 V 通道图像。

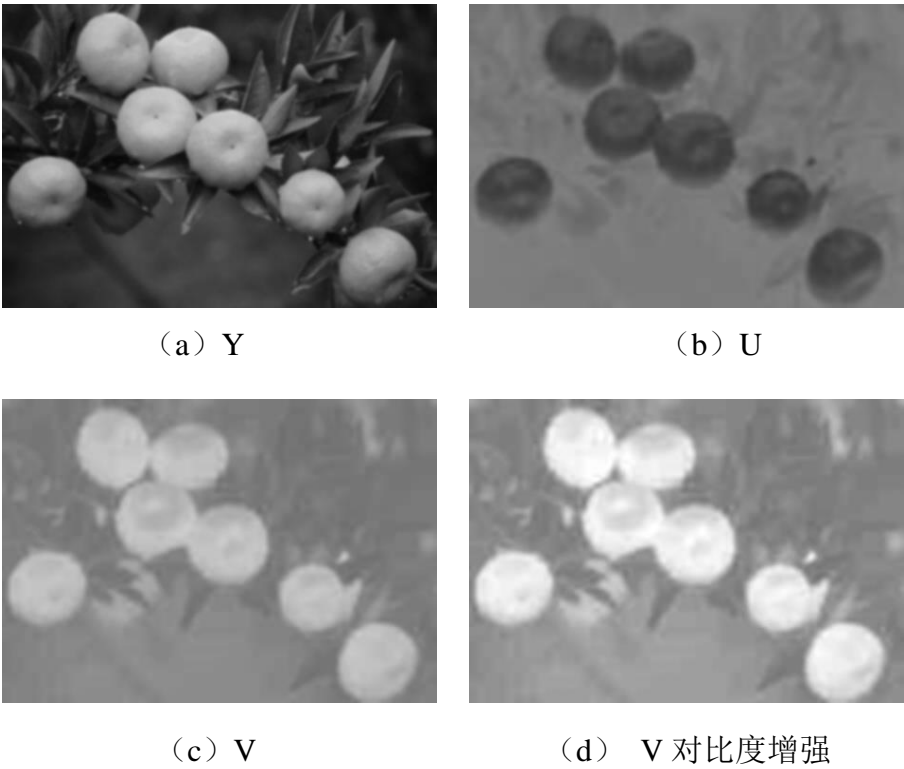


图 2 效果图

#### 1.2 基于 K-means 聚类算法的柑橘目标区域分割

目标分割方法采用无监督学习的 K-means 聚类算法进行柑橘目标区域的分割，该算法采用距离作为相似性的评价指标，把距离相近的对象分为一类，使得各类的聚类平方和最小。

K-means 算法的分类数  $k$  值和初始聚类中心会影响聚类效果，故本文对

**K-means 算法采取如下改进措施：**

（1）理论上  $k$  越大聚类越准确，但运行速度越慢<sup>[11]</sup>；柑橘为感兴趣区域而其它区域为背景区域，为了确保算法运行效率，故选定聚类数  $k=2$ 。

（2）随机选取初始聚类中心使得 K-means 算法耗时长，甚至影响聚类结果。因此本文首先在 YUV 模型的 V 分量灰度直方图中检测波峰波谷，根据波谷位置将整幅直方图分为两个区间，分别选取两个区间的波峰值处作为 K-mean 算法的两个初始聚类中心。

采用改进 K-means 算法对图 2（d）分割出来的柑橘目标区域如图 3 所示。



图 3 效果图

### 1.3 去噪处理

柑橘基本上从背景中分离出来，但是图像中含有空洞、毛刺及小面积区域等噪声。为了消除此类噪声，本文采取如下步骤：（1）首先，通过形态学处理先腐蚀后膨胀的方法来去除小面积区域，再利用种子填充法复原空洞；（2）其次，根据目标区域的面积特征设定一个阈值，当单个连通区域的面积小于此阈值时就将此区域里的所有像素按位取反，反之则不作任何处理，随即进行边缘平滑。经去噪后的柑橘目标区域如图 4 所示。

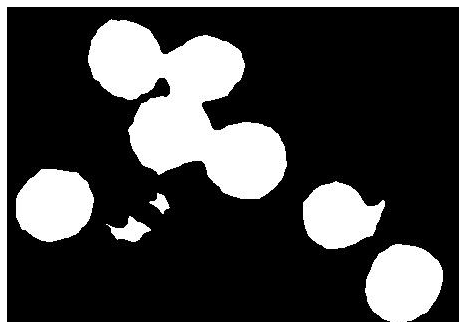


图 4 效果图

## 2 柑橘目标识别

柑橘目标识别包含了柑橘重叠边缘的分离和柑橘形状的拟合。柑橘目标区域

提取后，柑橘就从背景中分离出来，此时需确定每个柑橘的圆心和半径，以便获知每个柑橘的目标区域大小。实景下柑橘图像会出现部分重叠、粘连，故先利用边缘曲率剔除曲率突变点，再利用基于改进模拟退火的随机圆环法拟合出柑橘形状的外切圆。

### 2.1 柑橘重叠边缘的分离

采用 Canny 边缘检测算子提取出图 4 中的柑橘边缘。鉴于柑橘有重叠或遮挡的情况，还需要将重叠部分分离成单个柑橘的边缘。同一个柑橘边缘点的曲率基本相同，若柑橘出现重叠则在重叠边缘的交界处，边缘点的曲率会发生突变，被枝叶遮挡所形成的边缘同样出现类似特征，故利用边缘点曲率的变化可分割重叠区域的边缘。柑橘重叠边缘的分离描述如下：

对图 4 中的柑橘目标区域计算其相邻边缘点的曲率，设置一个曲率变化阈值，若某一边缘点的曲率变化大于此阈值，则将该边缘点转化为背景，反之则保留该边缘点，由此可将重叠的柑橘边缘分离出来、或因光照等原因使边缘损失或失真的柑橘边缘分离出来。

然后将处理后的边缘点按照是否连通的规则进行处理，如果是同一个连通域内的点则视作是同一个柑橘的边缘点，反之则属于不同的柑橘边缘点。最后设置一个边缘长度阈值，当一段边缘长度小于阈值时，则将其归为背景不作后续拟合；反之则用于后续拟合。分离前后的柑橘边缘分别如图 5（a）和图 5（b）所示。

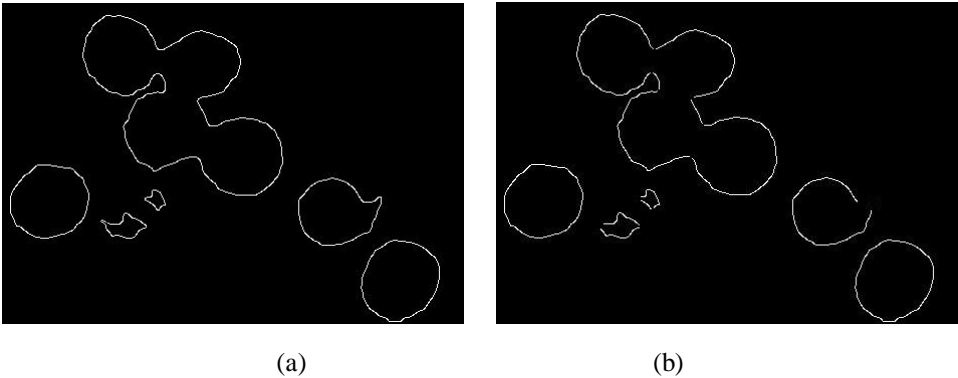


图 5 效果图

### 2.2 柑橘形状的拟合

#### 2.2.1 随机圆环法

每个柑橘的整个或一段边缘提取后，将其作为已知点来拟合柑橘形状，并求取圆心。本文采用随机圆环法来拟合柑橘的不规则圆形，若柑橘边缘上多数点位

于圆环内，就默认此圆环是柑橘外切圆。随机圆环法的原理描述如下：

以前述保留下来的每一连续边缘上任一不共线三点绘制外切圆多次，半径  $r$ 、圆心  $O(O_x, O_y)$ ，设所得圆环的宽度为  $w$ ，若柑橘边缘上任一点都在该圆环内，其坐标  $(x, y)$  均应满足：

$$r - \frac{w}{2} \leq \sqrt{(x - O_x)^2 + (y - O_y)^2} \leq r + \frac{w}{2} \quad (2)$$

随机圆环法步骤如下：

Step1: 根据分离后的柑橘边缘，建立数据空间  $V$ ，确定圆环宽度  $w$ ，设置最大循环数；

Step2: 随机在空间  $V$  中取 3 点，若三点共线，重复 Step2，否则进行下一步；

Step3: 求解出三点的外切圆半径  $r$  并确定其圆心  $O$ ，此时若循环次数小于最大循环次数则进行下一步，否则算法结束；

Step4: 若半径  $r$  在约束范围内，统计外切圆内的像素个数占总像素个数的比值，若该比值大于 0.95，则此外切圆为柑橘特征圆，算法结束，否则返回 Step2 继续进行。

### 2.2.2 改进随机圆环法

前述随机圆环法是随机从空间  $V$  中取 3 点，易导致程序耗时较长，因此本文提出基于模拟退火的改进随机圆环法。模拟退火的思想来源于对固体退火降温过程的模拟。基于模拟退火的随机圆环法步骤描述如下：

Step1: 解空间为空间  $V$  上的任意不共线的三点所组成的圆的集合。为了得有较好的初始解，本文通过选取  $X$  坐标和  $Y$  坐标的最小、最大值，有 4 个点分别计作  $A(x_{\min}, y_1), B(x_{\max}, y_2), C(x_1, y_{\min}), D(x_2, y_{\max})$ ，将其中的任意三个点组合可绘制出 3 个外切圆。

Step2: 统计 3 个外切圆内的像素个数占总像素个数的比值，根据比值最大选择出最优的外切圆  $M$  及其所对应的比值  $m$ 。

Step3: 若 step2 所选点为  $A(x_1, y_1), B(x_2, y_2), C(x_3, y_3)$ ，从中三个点中任选两个点，对其坐标进行变换，为了保证变化的效率，本文采用横纵坐标一起变换，其中一个点的  $x$  坐标进行变换。如

$A(x_1, y_1) \rightarrow A'(x_1 \pm \Delta, y_1), B(x_2, y_2) \rightarrow B'(x_2, y_2 \pm \Delta)$ , 然后  $A', B', C$  重新组成一个圆, 得到新的目标函数解  $m'$ 。

Step4: 对于 Step3 中的变换方法, 得到前后两个外切圆内的像素个数占总像素个数的比值的差值  $\Delta f$  :

$$\Delta f = m - m' \quad (3)$$

(5) 接受准则。一般情况下, 选取初始温度 1。

$$P = \begin{cases} 1, \Delta f < 0 \\ \exp(-\Delta f / T), \Delta f \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

(6) 降温。利用选定的降温系数  $\alpha$  进行降温, 取新的温度  $T$  为  $\alpha T$  (这里  $T$  为上一步迭代的温度), 这里选定  $\alpha = 0.999$ 。

(7) 结束条件。用选定的终止温度  $e = 10^{-30}$ , 判断退火过程是否结束。  $T < e$ , 则算法结束, 输出当前状态, 得到拟合出的外切圆。若不满足相应的输出条件, 则表明此段圆弧无法拟合相应的圆, 舍弃该段圆弧, 无输出。

需要注意的是, 可能存在两段及以上边缘拟合出的外切圆有较大程度如 70% 以上的重叠, 这种情况如果同时满足圆心距离小于某一设定圆心阈值, 则认为这几段分离的边缘属于同一柑橘。利用模拟退火改进的随机圆环法进行边缘拟合的结果如图 6 所示。

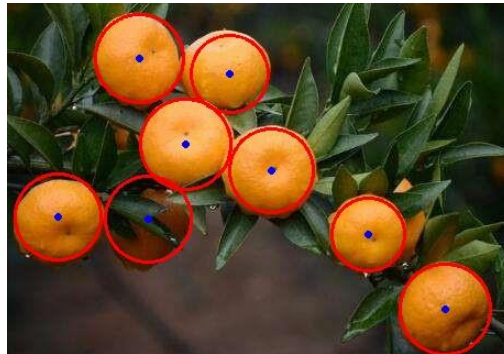


图 6 效果图