第3章 图像分析—
3.3区域描述

信控学院 蔡利梅

3.3.1区域的几何特征

- **位置** 物体在图像中的位置，用物体面积的中心点来表示

二值图像质心和形心重合。若图像中目标像素为(x_i, y_j)，$i=0\sim m-1; j=0\sim n-1$，质心位置坐标为：

$$\bar{x}=\frac{1}{mn}\sum_{j=0}^{n-1}\sum_{i=0}^{m-1}x_i$$

$$\bar{y}=\frac{1}{mn}\sum_{j=0}^{n-1}\sum_{i=0}^{m-1}y_j$$

0	0	0	0	0
0	1	1	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	0	0
0	0	1	0	0

$$\bar{x}=\frac{1}{mn}\sum_{j=0}^{n-1}\sum_{i=0}^{m-1}x_i=\frac{1}{6}(1+4\times 2+3)=2$$

$$\bar{y}=\frac{1}{mn}\sum_{j=0}^{n-1}\sum_{i=0}^{m-1}y_j=\frac{1}{6}(3\times 1+2+3+4)=2$$

方向

如果物体是细长的，把较长方向的轴定为物体的方向。

将最小二阶矩轴（最小惯量轴在二维平面上的等效轴）定义为较长物体的方向。也就是说，要找出一条直线，使下式定义的E值最小：

$$E=\iint r^2 f(x,y)dxdy$$

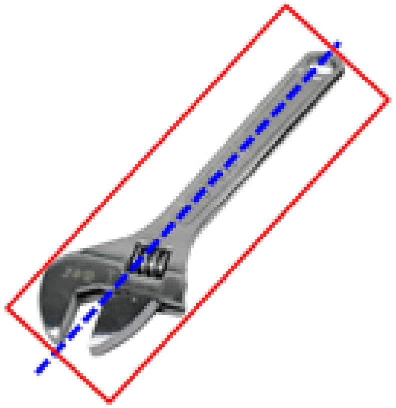
r是点(x,y)到直线的垂直距离

尺寸

长度和宽度： 区域在水平和垂直方向上的像素点数；用外接矩形的长宽表示。

外接矩形： 计算物体边界点的最大和最小坐标值，得到物体的水平和垂直跨度。

最小外接矩形： Minimum Enclosing Rectangle，MER，确定目标主轴，计算主轴方向上的长度和与之垂直方向上的宽度，得到的外接矩形，适合于任意朝向的物体



尺寸

面积： 度量物体的总尺寸，只与该物体的边界有关，与其内部灰度级的变化无关。

像素计数面积： 统计边界内部(含边界上)的像素数目。对二值图像，面积就是统计$f(x,y)=1$的个数：

$$A=\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}f(x,y)$$

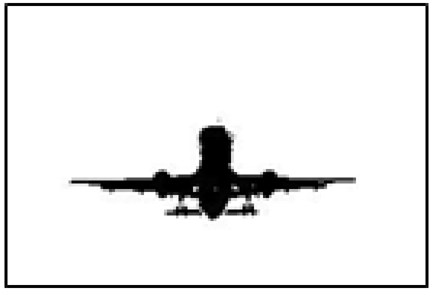
0	0	0	0	0
0	1	1	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	0	0
0	0	1	0	0

面积为6

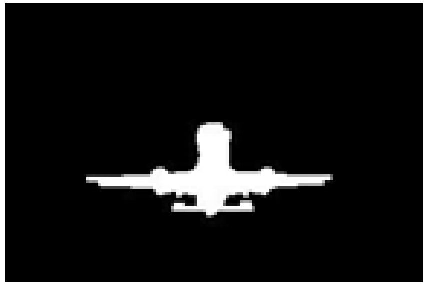
实例

对图像进行阈值分割，并统计区域的几何特征。

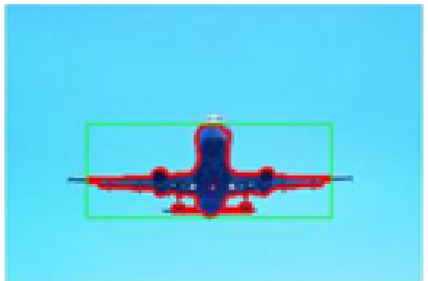
原图



二值化



划分的区域



检测的区域

STATS = Area: 2416
Centroid: [126.9814 106.6974]
BoundingBox: [50.5000 73.5000 150 57]
Orientation: 0.6521

几何特征

3.3.2区域的矩

矩描述是指以灰度分布的各阶矩来描述区域及其灰度分布特性

- 几何矩

连续函数$f(x,y)$的$p+q$阶几何矩：$M_{pq}=\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}x^p y^q f(x,y)dxdy \quad p,q=0,1,2,\cdots$

数字图像$f(x,y)$的$p+q$阶几何矩：$M_{pq}=\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}x^p y^q f(x,y) \quad p,q=0,1,2,\cdots$

零阶矩：$M_{00}=\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}f(x,y)$

区域的质心坐标：$\bar{x}=\dfrac{M_{10}}{M_{00}} \quad \bar{y}=\dfrac{M_{01}}{M_{00}}$

一阶矩：$\begin{cases} M_{10}=\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}xf(x,y) \\ M_{01}=\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}yf(x,y) \end{cases}$

几何矩系数传递一定数量的图像信息；
几何矩不具有几何变换不变性。

- 中心矩

$$\mu_{pq}=\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}f(x,y)(x-\bar{x})^p(y-\bar{y})^q$$

- 归一化中心矩

$$\eta_{pq}=\frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^{\gamma}},\gamma=\frac{p+q}{2}+1,\qquad p+q=2,3,\cdots$$

中心矩具有平移不变性，归一化中心矩具有比例变换不变性

- 不变矩组

$$\phi_1=\eta_{20}+\eta_{02}$$

$$\phi_2=(\eta_{20}-\eta_{02})^2+4\eta_{11}^2$$

$$\phi_3=(\eta_{30}-3\eta_{12})^2+(3\eta_{21}-\eta_{03})^2$$

$$\phi_4=(\eta_{30}+\eta_{12})^2+(\eta_{21}+\eta_{03})^2$$

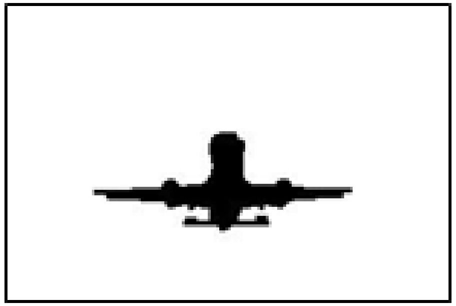
$$\phi_5=(\eta_{30}-3\eta_{12})(\eta_{30}+\eta_{12})\left[(\eta_{30}+\eta_{12})^2-3(\eta_{21}+\eta_{03})^2\right]+(3\eta_{21}-\eta_{03})(\eta_{21}+\eta_{03})\left[3(\eta_{30}+\eta_{12})^2-(\eta_{21}+\eta_{03})^2\right]$$

$$\phi_6=(\eta_{20}-\eta_{02})\left[(\eta_{30}+\eta_{12})^2-(\eta_{21}+\eta_{03})^2\right]+4\eta_{11}(\eta_{30}+\eta_{12})(\eta_{21}+\eta_{03})$$

$$\phi_7=(3\eta_{21}-\eta_{03})(\eta_{30}+\eta_{12})\left[(\eta_{30}+\eta_{12})^2-3(\eta_{21}+\eta_{03})^2\right]-(\eta_{30}-3\eta_{12})(\eta_{21}+\eta_{03})\left[3(\eta_{30}+\eta_{12})^2-(\eta_{21}+\eta_{03})^2\right]$$

- 不变矩组

对右图飞机图像进行几何变换，并计算各图像的不变矩组值。



图像	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
原图	0.3950	0.0756	0.0041	0.0002	0.0000	0.0000	-0.0000
旋转图	0.3922	0.0740	0.0040	0.0002	0.0000	0.0001	-0.0000
缩小图	0.3962	0.0766	0.0055	0.0013	0.0000	0.0000	-0.0000
镜像图	0.3950	0.0756	0.0041	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000

不变矩组具有几何变换不变性

二阶矩

$$\begin{cases} M_{20} = \sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} x^2 f(x,y) \\ M_{02} = \sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} y^2 f(x,y) \end{cases}$$

分别表示相对于y轴、x轴的转动惯量

对y轴、x轴的平均旋转半径为：

$$\begin{cases} R_x = \left(\frac{M_{20}}{M_{00}}\right)^{1/2} \\ R_y = \left(\frac{M_{02}}{M_{00}}\right)^{1/2} \end{cases}$$

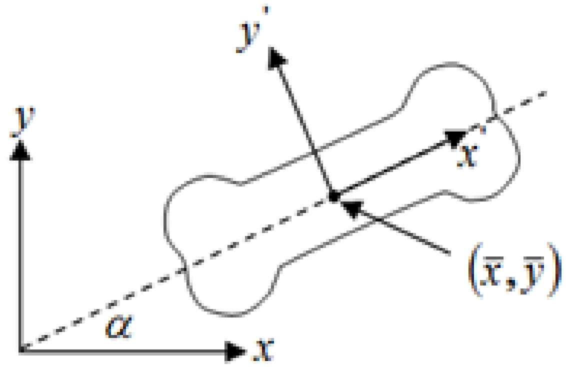
- 主轴

直线L：$(x-x_0)\sin\alpha-(y-y_0)\cos\alpha=0$

区域R关于直线L的转动惯量：$I=\iint\limits_R\left[(x-x_0)\sin\alpha-(y-y_0)\cos\alpha\right]^2 f(x,y)\,dxdy$

使I取最小的直线称为区域的主轴，经过区域R的质心，给出区域的取向。

$$\tan 2\alpha=\frac{2\mu_{11}}{\mu_{20}-\mu_{02}}$$



等效椭圆

转动惯量与椭圆方程在形式上一致，称为等效椭圆，用其参数表示区域的许多特征

等效椭圆的中心一般位于区域的质心，椭圆主轴与x轴的夹角为α，半长轴长、半短轴长为：

$$\begin{cases} a=\left[\dfrac{2\left(\mu_{20}+\mu_{02}+\sqrt{\left(\mu_{20}-\mu_{02}\right)^2+4\mu_{11}^2}\right)}{\mu_{00}}\right]^{\frac{1}{2}} \\ b=\left[\dfrac{2\left(\mu_{20}+\mu_{02}-\sqrt{\left(\mu_{20}-\mu_{02}\right)^2+4\mu_{11}^2}\right)}{\mu_{00}}\right]^{\frac{1}{2}} \end{cases}$$

偏心率

$e = a/b$

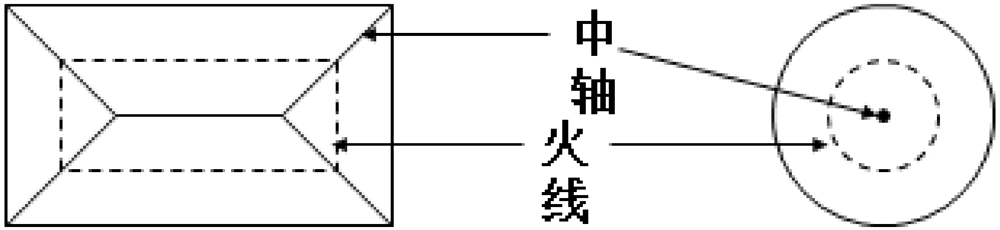
反映区域的灰度分布性质；若区域的灰度是均匀的，当区域接近于圆时，e接近于1，否则e>1；受物体形状和噪声的影响比较大。

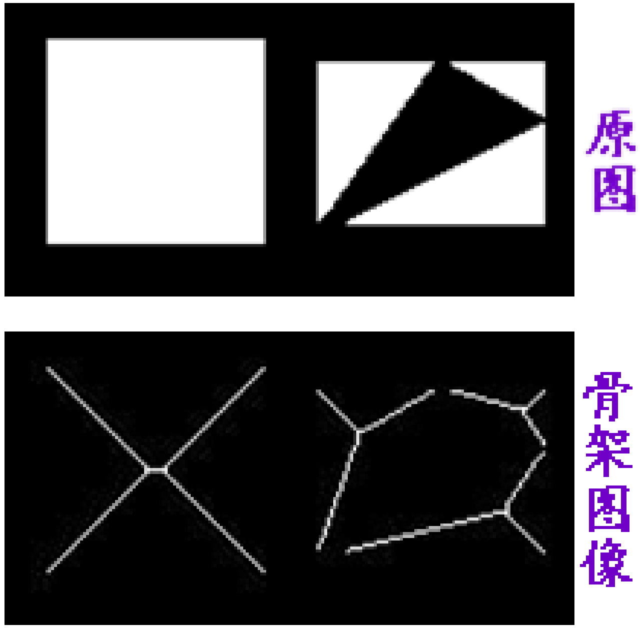
$$e = \left(\frac{\mu_{20} + \mu_{02}}{\mu_{00}}\right)^{1/2}$$

反映了区域各点对质心距离的统计方差以及物体偏离质心的程度

3.3.3区域的骨架

中轴，也称对称轴或骨架，是一种重要的形状特征





中轴变换：一种用来**确定物体骨架的细化技术**，对于区域中的每一点，寻找位于边界上离它最近的点，如果对于某点p同时找到多个这样的最近点，则称该点p为区域的中轴上的点。

3.3.4梯度方向直方图

- 灰度直方图

定义： 统计图像中各灰度出现的频率，以灰度级为横坐标、出现的频率为纵坐标绘制的图形；

特点： 反应了图像的概率统计特性，具有旋转不变性和缩放不变性；

扩展应用： 从直方图中计算各区域的均值、方差、能量、熵等特征值，用于表述图像信息。

特征直方图

定义： 统计图像中某个特征值出现的频率，以特征值为横坐标、出现的频率为纵坐标绘制的图形；

特点： 反应了图像的某种特征的统计特性；

扩展应用： 从直方图中计算相应的参数描述图像信息。

例如，纹理分析中，灰度差分统计直方图

梯度方向直方图

梯度方向直方图（Histogram of Oriented Gradients, HOG）是特征直方图的一种，通过统计梯度方向直方图，用于表征图像局部梯度方向和梯度强度分布特性。

主要思想：在边缘具体位置未知的情况下，边缘方向的分布也可以很好的表示目标的外形轮廓。

特征提取步骤

- 图像灰度化
- 图像归一化：$f(x,y)=f(x,y)^{Gamma}$
- 计算图像每个像素的梯度大小和方向

$$|\nabla f(x,y)|=\left[G_x(x,y)^2+G_y(x,y)^2\right]^{1/2}$$
$$\phi(x,y)=\arctan\left(G_y(x,y)/G_x(x,y)\right)$$

$G_x(x,y)$、$G_y(x,y)$为沿x、y方向的梯度

- 划分图像为若干方格单元，计算每一个方格单元的梯度方向直方图

将梯度方向在$[0,\pi]$区间划分为K个均匀区间，若方格单元内某个像素梯度方向为第k个梯度方向，则对应区间值**累加该像素的梯度值**

特征提取步骤

- 将相邻单元组成块，计算块中的HOG特征向量

将块内每个方格单元的梯度方向直方图转换为单维向量，并把所有方格单元向量串联，构成块的HOG特征向量。

- 块HOG特征向量归一化

$$v = v \Big/ \sqrt{\|v\|_2^2 + \varepsilon^2}$$

$$v = v \Big/ \left(\|v\|_1 + \varepsilon\right)$$

- 生成图像的HOG特征向量

以一个方格单元为步长对块进行滑动，将每块的特征组合在一起，得到图像的HOG特征。

实例

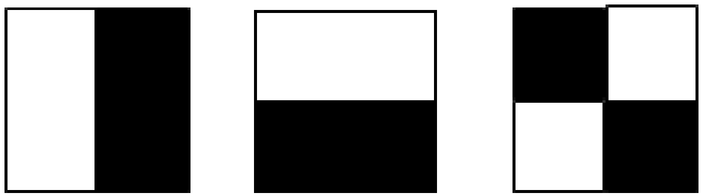
统计Lena图像的HOG特征值

Lena图像分辨率256×256，每方格单元取为8×8，每块由2×2个方格单元组成，$[0,\pi]$区间方向被分为9个均匀区间，每块的特征为36维，总共有31×31=961个块。

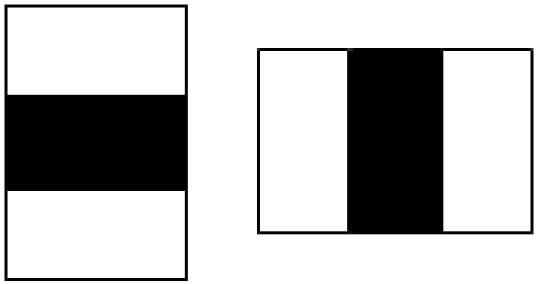
3.3.5Haar-like特征

- 定义

Haar-like特征反映图像的灰度变化，用黑白两种矩形框组合成特征模板



白色矩形内像素和减去黑色矩形内像素和

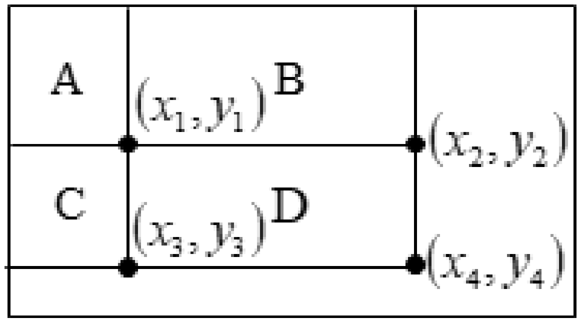


白色矩形内像素和减去2倍黑色矩形内像素和

- **计算**

采用积分图进行加速运算，以满足实时检测需求。**积分图：**(x,y) 左上方向所有像素求和

$$ii(x,y)=\sum_{x'\le x,\,y'\le y} f(x',y')$$



$ii(x_1,y_1)$是区域A的像素和；
$ii(x_2,y_2)$是区域A+B的像素和；
$ii(x_3,y_3)$是区域A+C的像素和；
$ii(x_4,y_4)$是区域A+B+C+D的像素和；

区域D求和，可通过A+B+C+D+A-(A+B)-(A+C)计算

$$\sum_{(x,y)\in D} f(x,y)=ii(x_4,y_4)+ii(x_1,y_1)-ii(x_2,y_2)-ii(x_3,y_3)$$

计算

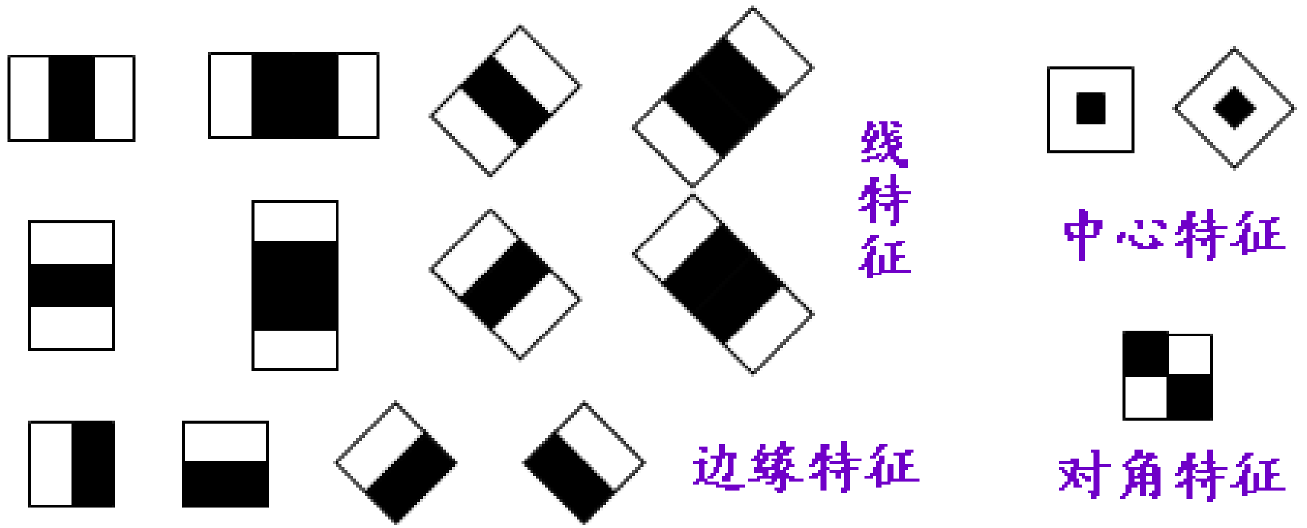
积分图构建

- 用$s(x,y)$表示沿y方向的累加和，初始化$s(x,-1)=0$
- 用$ii(x,y)$表示一个积分图像，初始化$ii(-1,y)=0$
- 逐列扫描图像，递归计算每个像素y方向的累加和、积分图像的值：$s(x,y)=s(x,y-1)+f(x,y)$

$$ii(x,y)=ii(x-1,y)+s(x,y)$$

- 遍历图像，则得到积分图像ii

扩展Haar-like特征



Haar-like特征一般和机器学习中的AdaBoost算法、级联分类器等技术结合使用

3.3.6MSER（Maximally Stable Extremal Regions）描述子

最大稳定极值区域，一种仿射不变区域特征提取算法，通过寻找最大稳定极值区域作为区域特征描述。

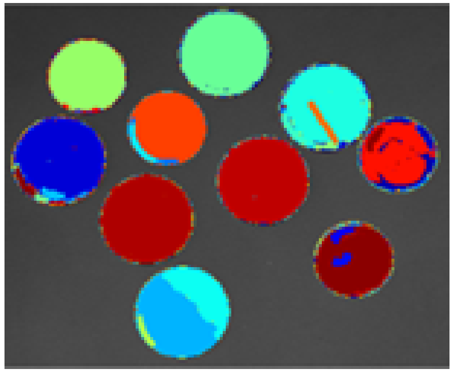
- 最大稳定极值区域

  - 取阈值为最小灰度，二值化后的图像为全白色；阈值逐渐增大，具有较小灰度的黑点慢慢呈现，慢慢聚合成小区域，小区域汇合成大区域，当阈值为最大灰度时，二值化图像为全黑色。在这个过程中，阈值在一定范围内变化时，区域的面积变化很缓慢的区域即是最大稳定极值区域。这样检测得到的MSER内部灰度值小于边界，表示为MSER+；
  - 将图像灰度反转后进行检测（或者将阈值从大到小变化），得到的MSER内部灰度值大于边界，表示为MSER－；MSER+和MSER－共同组成了MSER。

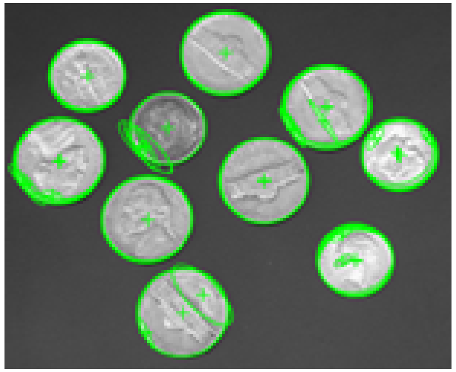
仿射不变区域特征描述子提取

- 对MSER计算二阶中心矩，用等效椭圆拟合MSER；
- 将拟合区适当扩大为测量区，指定半径归一化为圆形区域；
- 在归一化区域内进行图像梯度直方图统计，找出该直方图的最大值，并将该最大值对应的方向作为归一化区图像梯度的主方向；
- 根据主方向对归一化区图像进行旋转，保证特征描述的旋转不变性；
- 对灰度归一化保证对灰度变化的不变性。

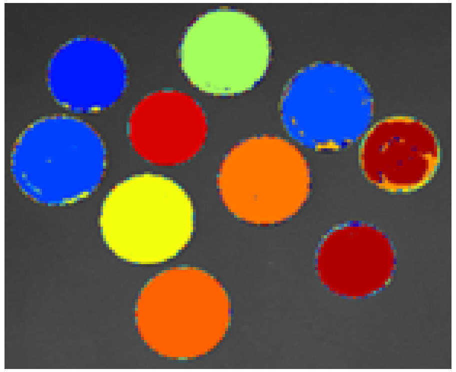
实例



MSER区域



等效椭圆和中心点



检测到的近似圆