

## 实验三 图像特征检测

### 1 实验目的

- ① 掌握图像中边缘、直线、圆形的检测原理
- ② 设计算法实现图像的边缘检测和基于霍夫变换的直线及圆检测

### 2 实验仪器

- ① 机器人硬件：开源移动机器人、笔记本
- ② 笔记本软件：ros-kinetic-full、opencv（仅用于实现图像的读取操作）

### 3 实验原理

#### 3.1 边缘检测

边缘检测算法主要是基于图像强度的一阶和二阶导数，但是导数通常对噪声很敏感，因此必须采用滤波器来抑制噪声影响。为了进一步提高边缘检测的准确性，需要对图像进行增强，既将图像灰度点邻域强度值有显著变化的点凸显出来，经过增强的图像，往往在邻域中由很多点的梯度值较大，所以需要采用某些方法做取舍。

这里边缘检测以 Canny 算法为例，主要步骤有如下 5 步：

#### 1) 高斯滤波

$$G(x,y) = \sum_{x-m}^{x+m} \sum_{y-m}^{y+m} \exp\left| -\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2} \right|, m = \frac{n-1}{2}$$

n 为高斯滤波器的尺寸大小。

#### 2) 计算梯度的幅值和方向

$$G_x = \frac{1}{2} \bullet \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}, G_y = \frac{1}{2} \bullet \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$|B| = \sqrt{B_x^2 + B_y^2}, \theta = \arctan \frac{B_y}{B_x}$$

#### 3) 非极大值抑制

如下图所示，M 的邻域中，如果 M 不是最大值，则 M=0；否则，保持 M 不变，这样可以保持局部最大梯度来找到边缘。

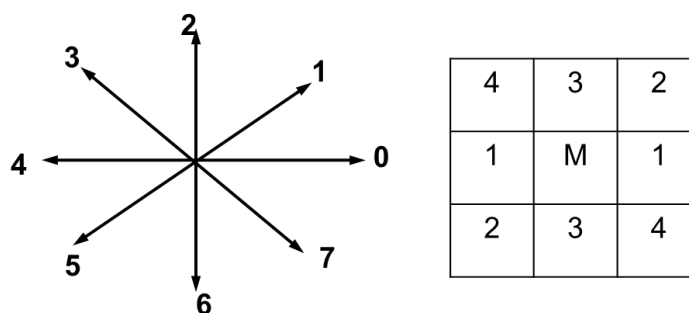


Fig 1 非极大值抑制图

#### 4) 滞后阈值

滞后阈值需要两个阈值（高阈值和低阈值）：

- ① 若某一像素的幅值超过高阈值，则该像素保留为边缘像素；
- ② 若某一像素的幅值小于低阈值，则该像素被排除；
- ③ 若某一像素的幅值处在两个阈值之间，则该像素仅仅在连接到一个高于高阈值的像素时被保留。

#### 5) 边缘连接

利用 canny 算子对 lena 图进行边缘检测，结果如图 2 所示。



Fig 2 canny 边缘检测示意图

### 3.2 霍夫变换

霍夫变换是图像处理中的一种特征提取技术，该过程在一个参数空间中通过计算累积结果的局部最大值得到一个符合该特定形状的集合作为霍夫变换的结果。该方法的一个突出优点是分割结果的鲁棒性，即对数据的不完全或噪声不是非常敏感。经典霍夫变换用来检测图像中的直线，后来霍夫变换扩展到任意形状物体的识别，多为圆和椭圆。霍夫变换运用两个坐标空间之间的变换将在一个空间中具有相同的曲线或直线映射到另一个坐标空间的一个点形成峰值，从而把检测任意形状的问题转化为统计峰值的问题。

#### 3.2.1 霍夫线变换

一条直线在图像二维空间可由两个变量表示，有如图 3 所示的两种情况：

- ① 在笛卡尔坐标系，可由斜率(k)和截距(b)表示，即：

$$y = kx + b$$

- ② 在极坐标系，可由极径(r)和极角( $\theta$ )表示，即：

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta$$

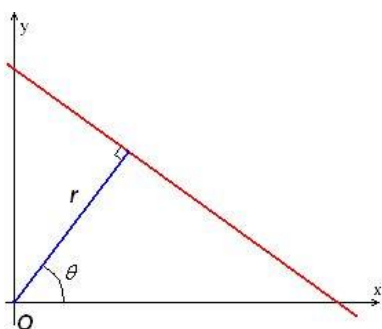


Fig 3 直线的两种表示方法

对于点  $(x_0, y_0)$ ，可以将通过这个点的一簇直线统一定义为：

$$r_\theta = x_0 \cos \theta + y_0 \sin \theta$$

这意味着每一对  $(r_\theta, \theta)$  代表一条通过  $(x_0, y_0)$  的直线。对于给定点  $(x_0, y_0)$ ，在极坐标对极径极角平面绘出所有通过它的直线，得到一条正弦曲线。例如，对于给定点  $(8, 6)$  可以绘出如下图所示平面图：

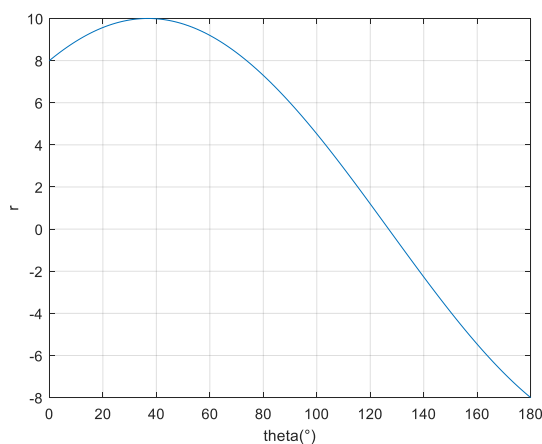


Fig 4 经过给定点的直线簇

如果两个不同的点进行上述操作之后再极坐标平面相交，意味着它们通过同一条曲线，而越多曲线交于一点也意味着这个交点表示的直线由更多的点组成。一般来说通过设置直线上点的阈值来定义多少条曲线交于一点，这样认为检测到了一条直线。霍夫变换检测直线的主要步骤有如下几步：

- 1) 将彩色图像转化为灰度图；
- 2) 对灰度图做边缘检测得到二值化的边缘图；
- 3) 在参数空间量化参数  $a, b$ ，并给出  $(a_{min}, a_{max})$  和  $(b_{min}, b_{max})$ ；
- 4) 设置累加器 A：A 表示  $(a_{min}:a_{max}, b_{min}:b_{max})$ ，初始设置为 0；

- 5) 对于给定的点 $(x_i, y_i)$ ，在 $a$ 轴范围内取值 $a$ ，并用方程 $b = -x_i a + y_i$  计算 $b$ 的值；
  - 6) 将 $b$ 四舍五入到 $b$ 轴中最接近的值；若 $a_p$ 可以计算出 $b_q$ ，则 $A(p, q) = A(p, q) + 1$ ；
  - 7) 最后， $A(i, j)$ 中的 $Q$ 值对应于在 $xy$ 空间中，有 $Q$ 个点落在直线 $y = a_i x + b_j$ 。
- 直线检测结果如图 5 所示：

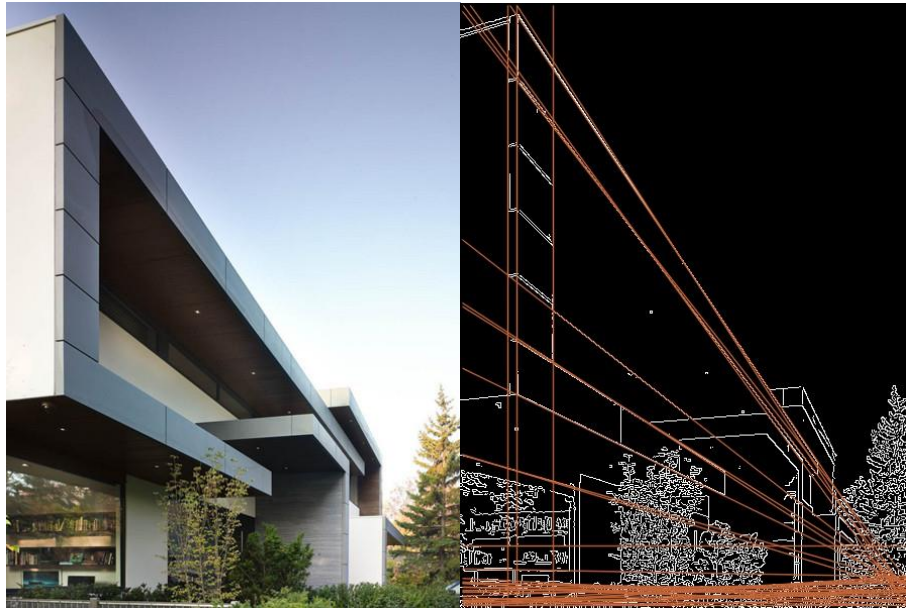


Fig 5 霍夫线变换检测图

### 3.2.2 霍夫圆变换

霍夫圆变换的基本原理与霍夫线变换的原理类似，只是点对应的二维极径极角空间被三维的圆心点 $(x_i, y_i)$ 和半径 $r$ 空间所取代，即利用三个参数表示圆：

$$(x - x_{center})^2 + (y - y_{center})^2 = r^2$$

利用霍夫梯度法检测圆的基本步骤有如下几步：

- 1) 将彩色图像转化为灰度图；
- 2) 对灰度图做边缘检测得到二值化的边缘图；
- 3) 对于给定点 $(x_i, y_i)$ ，设置圆心点 $(x_{center}, y_{center})$ 和半径 $r$ 的参数范围后，对

$x_{center}, y_{center}$  以固定步长增加，并计算对应半径 $r$ ；

- 4) 更新累加器，根据设置的阈值，决定图像中检测到圆的参数；

圆检测结果如图 6 所示：



Fig 6 霍夫圆变换检测图

#### 4 实验内容（**请注意选择适合的场景作为实验的原始图像，可以看到明显的检测和变换效果**）

##### 4.1 边缘检测

- ① 使用 `imread` 读取图片
- ② 将 RGB 图转化为灰度图
- ③ 设计边缘检测函数(任选一种)
- ④ `imshow` 输出边缘检测结果

边缘检测结果示意图如下：（示例）

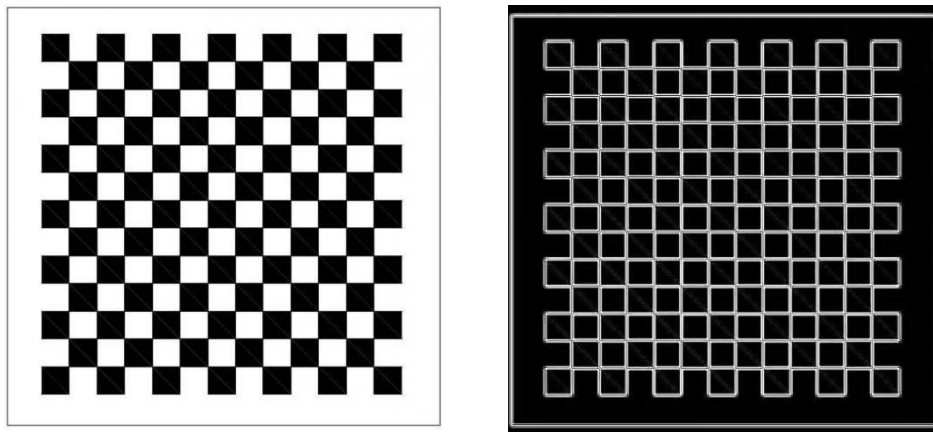


Fig 7 边缘检测结果（示例）

##### 4.2 霍夫线变换

- ① 使用 `imread` 读取图片
- ② 图像预处理
- ③ 设计霍夫变换函数对图片进行直线检测
- ④ `imshow` 输出直线检测结果

直线检测结果如下图所示：（示例）

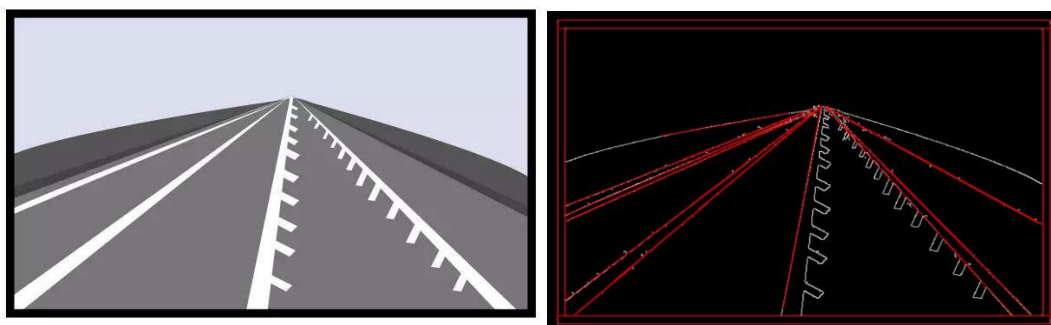


Fig 8 线检测结果（示例）

### 4.3 霍夫圆变换

- ① 使用 `imread` 读取图片
- ② 图像预处理
- ③ 设计霍夫变换函数对图片进行圆检测
- ④ `Imshow` 输出圆检测结果

圆检测结果如下图所示：（示例）

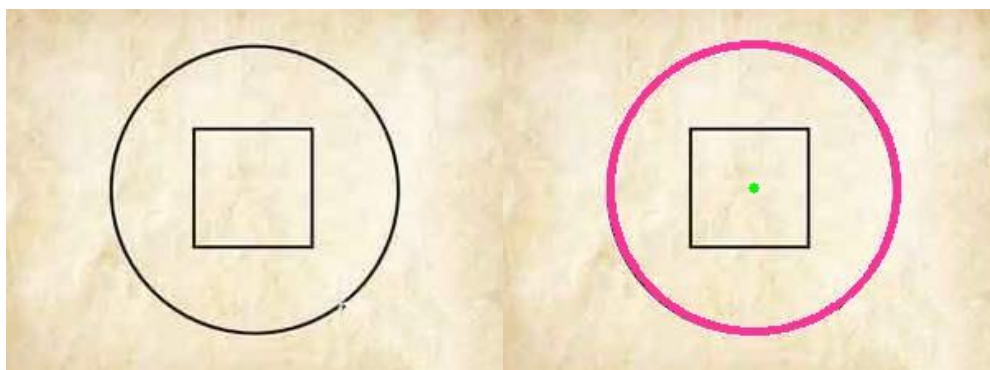


Fig 9 圆检测结果（示例）