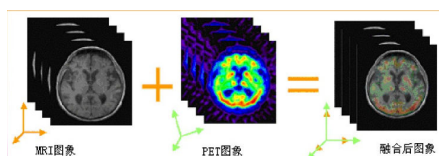


## 医学图像配准起源（多模态融合）

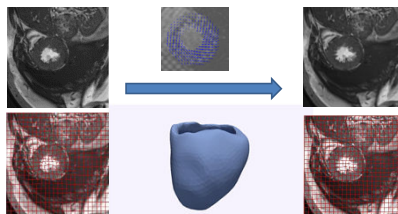
- 起源于多模态融合的需求，尤其是**功能成像(PET)**模态和**解剖结构成像(CT/MRI)**模态之间的融合。克服由于成像原理不同导致的信息局限性。
- 功能成像：分辨率较差、反应脏器功能代谢情况。
- 解剖成像：分辨率高、组织结构明显、不能反应代谢情况



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 医学图像配准起源（运动分析）

- 以心室运动为例：单一模态在不同时刻的配准，从而刻画运动轨迹，实现形变分析。



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 配准的应用场景

- 引导精确穿刺**：精确的定位肿瘤区域，获取肿瘤组织。



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 配准的应用场景

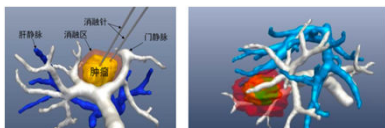
- 手术规划的制定**：外科医生可以根据配准的CT、MRI、DSA等图像精确定位病灶及周围相关的解剖结构信息，设计出缜密的手术计划。例如在癫痫病的治疗过程中，一方面需要通过CT、MRI获得病人解剖信息，一方面又通过PET获得病人的功能信息。



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 配准的应用场景

- 放化疗计划的制定**：应用CT和MRI图像配准和融合来制定放疗计划和进行评估，用CT图像精确计算放射剂量，用MR图像描述肿瘤，用PET和SPECT图像对肿瘤的代谢、免疫和其他生理方面进行识别和特征化处理。
- 疾病变化的跟踪**：可以将图像配准后，进行三维重建，跟踪肿瘤区域的变化情况，也可以用于治疗效果的评估。



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 医学图像配准应用划分

- 同一对象 (intra—subject) 的图像配准

单模 (monomodality)	<ul style="list-style-type: none"> <li>不同 MR 加权图像间的配准</li> <li>图像序列配准：fMRI 图像序列的配准</li> <li>同一部位，不同时间图像的配准（例如评估心脏运动情况）</li> </ul>
多模 (multimodality)	<ul style="list-style-type: none"> <li>CT和MRI图像</li> <li>CT(或MRI)与SPECT(或PET)配准</li> <li>SPECT/ECT与CT/MRI/DSA配准</li> </ul>

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 医学图像配准应用划分

- 不同对象间 (inter—subject) 的图像配准  
将被试的图像与典型正常人相同部位的图像对比，以确定被试者是否正常。如果异常，也许还要与一些疾病的典型图像对比，确定患者是否属于同类

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

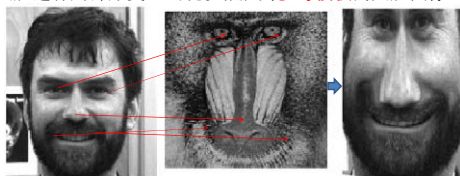
## 什么是图像配准？

- 本质问题：是解决两个图像像素点的一一对应问题。图像配准的最终目标就是找到两幅待配准图像之间的最准确地空间对应关系，使两幅待配准图像中的相对应的几何物体在位置与形状方面达到一致

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 什么是医学配准？

- 一个有趣的例子：一张图片理解配准的概念——“人脸和猿脸转换”。找到人脸的关键点（鼻子、眼睛、嘴角），将人脸进行局部形变，出现以猿脸为参考模板的人脸图像。



浮动图像      参考图像      配准结果

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

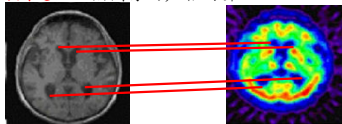
## 输入图像定义

- 浮动图像：待配准图像，可以对其进行刚性和非刚性形变得到配准结果。
- 参考图像：可以理解为目标图像模板，不进行形变，只作为参考和相似度测量使用。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 什么是医学图像配准？

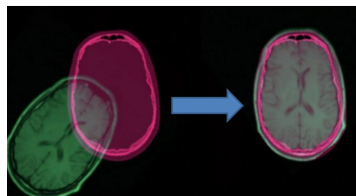
- 医学图像配准是指对于一幅医学图像寻求一种（或一系列）空间变换，使它与另一幅医学图像上的对应点达到空间上的一致。这种一致是指人体上的同一解剖点在两张匹配图像上有相同的空间位置（位置一致，角度一致、大小一致）。可以理解为图像配准在医学领域的延伸。
- 目的：将多种成像模式或同一种模式得到的多幅图像综合分析，更好的了解组织情况
- 解决的问题：几幅图像的严格对齐



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 医学图像配准的挑战

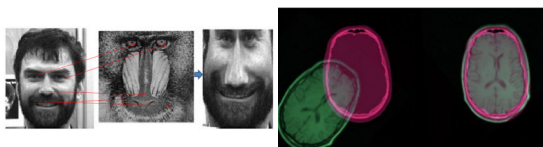
- 医学图像比较模糊，两幅图像对应的特征点比较难确定。
- 两个目标在空间存在复杂的位置关系，无法用简单的映射关系表达（需要构造相对复杂映射关系）。



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

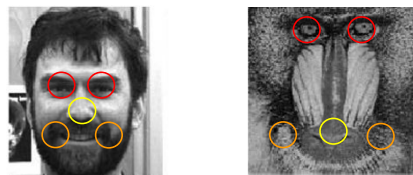
## 图像配准如何实现？

同学们可以先思考2分钟，要完成如下两幅图的配准任务，你们会考虑怎么做？先做什么？后做什么？大家可以积极发言，大胆设想！



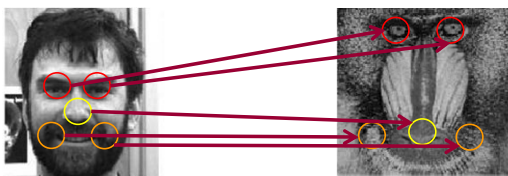
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 首先要找到关键点（特征点）



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 图像变换



通过变换实现对应特征点的匹配。  
对于这个例子，我们使用了局部非刚性变换（我们将详细介绍非刚性变换的数学原理）。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

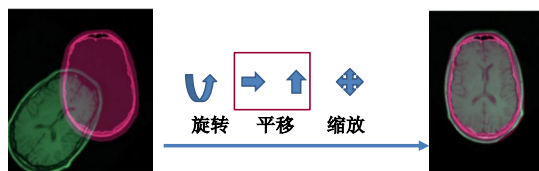
## 非刚性变换



最终通过非刚性的局部形变实现配准。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 刚性变换



这个例子通过全局刚性变换（旋转、平移、缩放、切边等，我们将详细介绍非刚性变换的数学原理）就能够实现配准。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

然而上述讲解是我们对配准过程的直观理解，实际应用中的配准问题是复杂的充满挑战：

如何实现自动化的配准？

如何构建求解模型？

这才是配准问题的核心

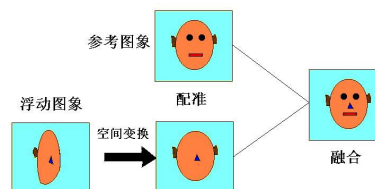
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 目录

- 医学图像配准起源和定义
- 医学图像配准的整体流程
- 图像配准关键技术---特征点检测

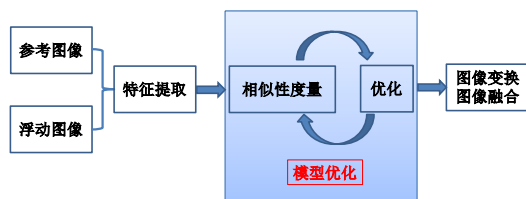
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 医学图像配准流程示意



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 医学图像配准流程



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 医学图像配准关键技术

- 配准关键技术可以归纳为：
  - **特征提取**：图像特征提取，关键点检测。
  - **图像变换（特征匹配）**：刚体变换、仿射变换、B-样条变换或者是弹性变换等；
  - **图像插值或重采样**：最邻近插值、线性插值或三次卷积插值等（之前课程讲解过）；
  - **相似性度量**：一个评价图像相似性的测度准则，例如最大互信息测度；
  - **变换模型估计（模型优化）**：寻找变换参数，即优化算法，常用的优化算法有Powell 算法，梯度下降法等。
  - **图像融合**：从一幅图像中分割出感兴趣部分，嵌入到另一幅图像中，例如灰度调制法、Toet法、小波变换融合法等

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 目录

- 医学图像配准起源和定义
- 医学图像配准的整体流程
- 图像配准关键技术---特征点检测

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 特征提取

- 特征提取是指分别提取两幅图像中共有的图像特征。这种特征是出现在两幅图像中对**比例、旋转、平移等变换保持一致性的特征**，如线交叉点、物体边缘角点、虚圆闭区域的中心等可提取的特征。特征包括：点、线和区域三类。

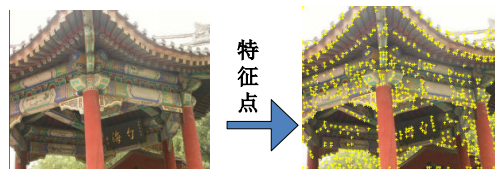
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 特征提取

- 点特征是最常采用的一种图像特征，包括物体边缘点、角点、线交叉点等；根据各特征点的兴趣值将特征点分成几个等级。对不同的目的，特征点的提取应有所不同。
- 线特征是图像中明显的线段特征，如道路河流的边缘，目标的轮廓线等。线特征的提取一般分两步进行：首先采用某种算法提取出图像中明显的线段信息，然后利用限制条件筛选出满足条件的线段作为线特征
- 区域特征是指利用图像中明显的区域信息作为特征。在实际的应用中最后可能也是利用区域的重心或圆的圆心点等作为特征。

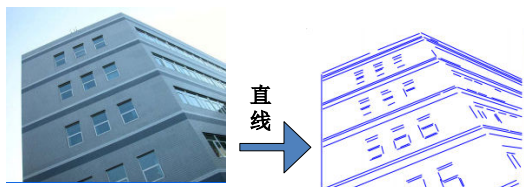
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 点检测



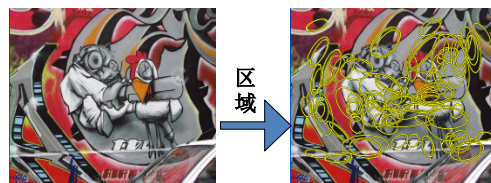
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 线检测



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 区域检测



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 点检测

### 点特征提取方法

- 阈值法
- Harris
- Hessian-Laplace
- Hessian-Affine
- Moravec算子
- Forstner算子
- ...

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 线检测

- Robert算子
- Sobel
- Prewitt
- Kirsch
- Gauss-Laplace
- Canny
- ...

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

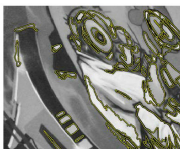


## 区域检测

### 区域特征提取方法

#### —Mser

使用不同的阈值对图像进行二值化，这个过程中，所有阈值图像上形成的连接区域都是极小值区域，在阈值图像的变化过程中，形成了一系列嵌套的极值区域组。在每组嵌套区域里，有一类性质较为稳定的区域，这类区域在较大阈值范围内具有较小的变化，被定义为“最稳定极值区域”。



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

点、线、面的检测算法很多，我们挑选一些代表性进行讲解，其他的大家可以作为课外作业进行学习！

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 特征提取

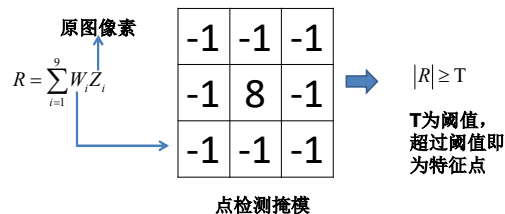
理想的特征满足以下几个条件：

- 特征提取简单、计算量小。
- 鲁棒性强（不受噪声、光照、图像缩放、旋转、扭曲变化等因素影响）
- 各种图像均能适用（普及性强）

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 特征提取—点检测

- 传统基于阈值的点检测方法是采用空间滤波（卷积）实现。



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 特征提取—线检测（基于算子）

### • Prewitt

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

水平

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

垂直

0	1	1
-1	0	1
-1	-1	0

对角线

### • Sobel算子

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

水平

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

垂直

0	1	2
-1	0	1
-2	-1	0

对角线

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

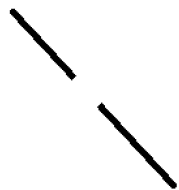
## 特征提取—线检测（基于算子）

- 对检测简单的图像比较有效



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

基于算子的线检测比较直观，但是对于不连续的线段，基于算子的方法不能够将其识别为一个连续的直线



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 特征提取—线检测（Hough变换）

霍夫变换于1962年由Paul Hough 首次提出，后于1972年由Richard Duda和Peter Hart推广使用，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。

- Hough变换：一种利用图像的全局特征将特定形状的边缘连接起来，所以受噪声和边界间断的影响较小，比较鲁棒。可以识别不连续线段。

- Hough变换基本思想：

点-线对偶 ( $y=ax+b$ )

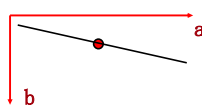
$x$ - $y$ 平面上的任意一条直线 $y=ax+b$ ，对应参数 $a$ - $b$ 平面上都有一个点



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 特征提取—线检测（Hough变换）

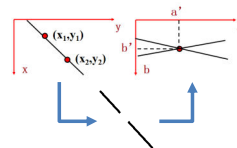
- 过 $x$ - $y$ 平面一个点 $(x, y)$ 的所有直线，构成参数 $a$ - $b$ 平面上的一条直线



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 特征提取—线检测（Hough变换）

- 如果点 $(x_1, y_1)$ 与点 $(x_2, y_2)$ 共线，那么这两点在参数 $a$ - $b$ 平面上的直线将有一个交点，可以**检测不连续线段**！

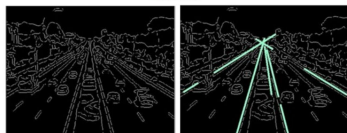


- 在实际应用中，根据图像大小设定阈值 $K$ ，规定若某个直线区域内包含的特定像素数量超过 $K$ ，则认为此直线区域所对应的直线存在

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine



(a) 原图像

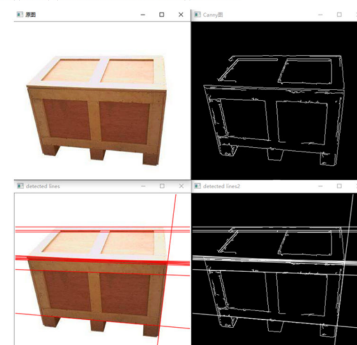


(a) Canny 算子进行边缘检测结果

(b) Hough 变换检测直线

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

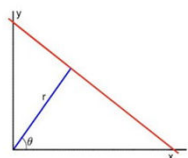
测试效果如图如下，canny边缘检测有不连续的边缘，霍夫变换直线检测可以连接不连续的直线边缘。



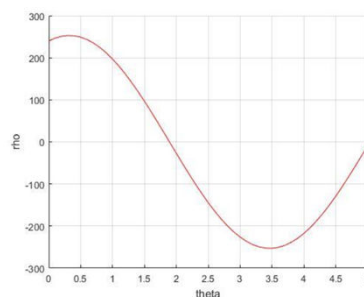
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine



$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$ , 变形可得  $y = -\frac{\cos \theta}{\sin \theta} x + \frac{\rho}{\sin \theta}$ ,  $\rho$  为原点到直线的距离, 也常用  $r$  表示, 示意图如下:

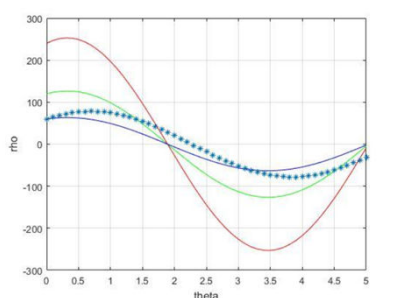


哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine



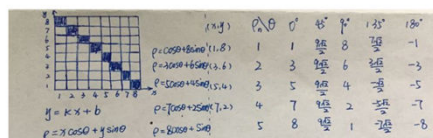
x-y坐标系下的一个点在rho-theta坐标系下为正弦曲线

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine



同一直线上的点会有相同的rho和theta, 即在rho-theta下交于一点

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine



如上图, 假定在一个8\*8的平面像素中有一条直线, 并且从左上角(1,8)像素点开始分别计算  $\theta$  为0°、45°、90°、135°、180°时的  $\rho$ , 图中可以看出  $\rho$  分别为  $1$ 、 $\frac{9\sqrt{2}}{2}$ 、 $8$ 、 $\frac{7\sqrt{2}}{2}$ 、 $-1$ , 并给这5个值分别记一票, 同理计算像素点(3,6)点  $\theta$  为0°、45°、90°、135°、180°时的  $\rho$ , 再给计算出来的5个  $\rho$  值分别记一票, 此时就会发现  $\rho = \frac{9\sqrt{2}}{2}$  的这个值已经记了两票了, 以此类推, 遍历完整个8\*8的像素空间的时候  $\rho = \frac{9\sqrt{2}}{2}$  就记了5票, 别的  $\rho$  值的票数均小于5票, 所以得到该直线在这个8\*8的像素坐标中的极坐标方程为  $\frac{9\sqrt{2}}{2} = x \cos \frac{\pi}{4} + y \sin \frac{\pi}{4}$ , 到此该直线方程就求出来了。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

#### Hough变换步骤:

1. 边缘检测: 首先, 对输入图像进行边缘检测操作, 例如使用Canny边缘检测算法, 以获取图像中明显的边缘。
2. 构建参数空间: Hough变换通过在参数空间中对边缘点进行累加来检测特定形状。对于检测直线, 参数空间通常由两个参数表示: 极坐标中的角度 ( $\theta$ ) 和原点到直线的最短距离 ( $r$ )。根据图像尺寸和期望检测的直线范围, 确定参数空间的大小和分辨率。
3. 累加过程: 遍历图像中的每个边缘点, 在参数空间中进行累加。对于每个边缘点, 计算它与所有可能的直线之间的距离 ( $r$ ), 并在相应的参数空间位置增加累加值。
4. 阈值化: 根据累加结果, 设定一个累加值的阈值, 将低于阈值的累加值忽略, 以消除噪声和不明显的特征。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

5. 参数解析: 在阈值化后的累加图中, 寻找峰值, 这些峰值对应于在原始图像中明显的直线。可以通过设置峰值的最小阈值或选择前N个峰值来控制检测到的直线数量。

6. 参数反变换: 对于检测到的每个峰值, 将其转换回图像空间中的直线表示。根据参数空间中的  $\theta$  和  $r$  值, 计算直线在图像中的端点或参数化表示。

7. 绘制检测结果: 将检测到的直线绘制在原始图像上, 以可视化检测结果。

Hough变换是一种基于累加的方法, 通过在参数空间中对边缘点进行累加来检测特定形状的存在。该方法适用于检测直线、圆或其他形状, 具有较好的鲁棒性和不受图像旋转和缩放的影响。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

```
function HoughTransform(image, theta_resolution, rho_resolution,
threshold):
// 初始化参数空间
max_rho = sqrt(image.width^2 + image.height^2)
num_theta = 180 / theta_resolution
accumulator = array(num_theta, num_rho)

// 遍历图像中的每个像素
for each pixel (x, y) in image:
// 如果是边缘点
if image(x, y) is an edge:
for each theta_index in [0, num_theta):
theta = theta_index * theta_resolution
rho = x * cos(theta) + y * sin(theta)
rho_index = round((rho - rho_resolution + num_rho) / 2)

// 在参数空间中累加
accumulator(theta_index, rho_index) += 1
```

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

```
// 寻找累加器中的峰值
detected_lines = []
for each theta_index in [0, num_theta):
for each rho_index in [0, num_rho):
if accumulator(theta_index, rho_index) > threshold:
// 将峰值的参数转换回图像空间
theta = theta_index * theta_resolution
rho = (rho_index - num_rho / 2) * rho_resolution
line = (theta, rho)
detected_lines.append(line)

return detected_lines
```

该伪代码描述了基本的Hough变换算法步骤，包括初始化参数空间、遍历图像像素、累加过程、寻找峰值和参数反变换。在每个边缘点处，根据参数空间中的 $\theta$ 和 $\rho$ 值进行累加。然后，在累加器中寻找大于阈值的峰值，将峰值的参数转换回图像空间表示检测到的直线。最后，返回检测到的直线作为结果。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

相比**线特征**和**区域特征**，**点特征**在图像配准中更为常用，后面的讲解将对**点特征**略有侧重！

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 特征提取—Harris点检测

基于阈值的点检测方法计算速度快、但是容易受到噪声的干扰，并且只能用于检测孤立点，应用具有局限性。后来提出的著名的点检测方法包括：

- Harris (Harris Corner Detector)角点检测算法
- SIFT特征描述子（下一节课详细讲）

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 特征提取—Harris点检测

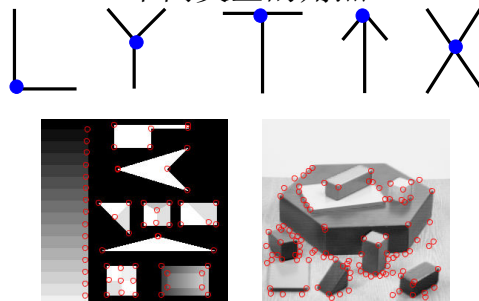
- Harris (Harris Corner Detector)算法：擅长角点检测
- 1988年由Chris Harris和Mike Stephens提出。
- C.Harris, M.Stephens. "A Combined Corner and Edge Detector". Proc. of 4th Alvey Vision Conference, 1988

### 角点检测算法要求：

- 检测出图像中“真实的”角点
- 准确的定位性能
- 很高的重复检测率（稳定性好）
- 具有对噪声的鲁棒性
- 具有较高的计算效率

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 不同类型的角点



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

### 特征提取—Harris点检测

- 角点定义

平坦区域：窗口任意方向移动，无灰度变化

边缘：窗口沿着边缘方向移动，无灰度变化

角点：窗口向任意方向的移动都导致图像灰度的明显变化

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

### 特征提取—Harris点检测

将图像窗口平移 $[u,v]$ 产生灰度变化 $E(u,v)$

$$E(u,v) = \sum_{x,y} w(x,y) [I(x+u, y+v) - I(x,y)]^2$$

窗口函数  $w(x,y)$  = 1 in window, 0 outside 或 Gaussian

平移后的图像灰度  $I(x+u, y+v)$  图像灰度  $I(x,y)$

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

### 特征提取—Harris点检测

$$E(u,v) = \sum_{x,y} w(x,y) [I(x+u, y+v) - I(x,y)]^2$$

由泰勒公式得到  $I(x+u, y+v) = I(x,y) + I_x u + I_y v + O(u^2, v^2)$

得  $E(u,v) = \sum_{x,y} w(x,y) [I_x u + I_y v + O(u^2, v^2)]^2$

由  $E(u,v) \cong \sum_{x,y} w(x,y) [I_x u + I_y v]^2$  余项忽略

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

### 特征提取—Harris点检测

由  $[I_x u + I_y v]^2 = [u, v] \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$

对于局部微小的移动量 $[u,v]$ ，可以近似得到下面的表达：

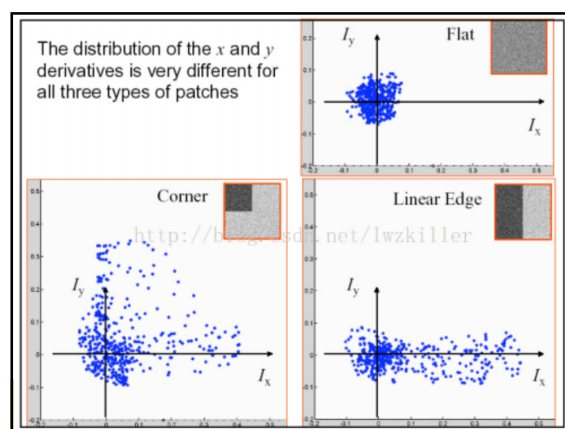
$$E(u,v) \cong \sum_{x,y} w(x,y) [u, v] \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = [u, v] M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$

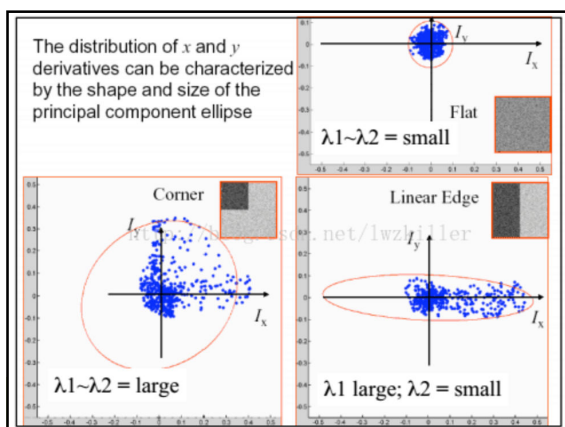
$$M = \sum_{x,y} w(x,y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$$

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

	Linear Edge	Flat	Corner
Input image patch			
X derivative			
Y derivative			

HI dicine

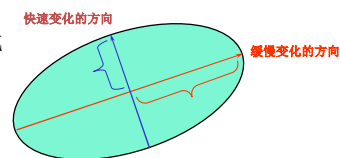




## 特征提取—Harris点检测

$M$ 的特征值  $\rightarrow \lambda_{\max}, \lambda_{\min}$

$E(u, v)$ 的椭圆形式



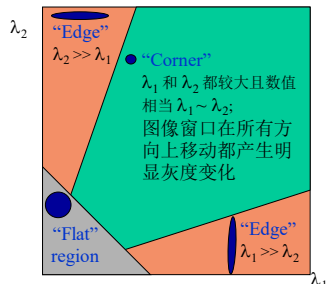
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 特征提取—Harris点检测

通过 $M$ 的两个特征值的大小对图像点进行分类:

如果 $\lambda_1$ 和 $\lambda_2$ 都很小, 图像窗口在所有方向上移动都无明显灰度变化



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 特征提取—Harris点检测

角点响应函数 $R$ 被提出来用于表示图像中角点的相应强度

算法:  
 $R = \det M - k (\text{trace } M)^2$   
对角点响应函数 $R$ 进行阈值处理:  
 $\det M = \lambda_1 \lambda_2$   
 $\text{trace } M = \lambda_1 + \lambda_2$   
 $R > \text{threshold}$   
为角点

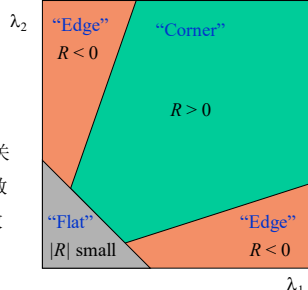
( $k$  – empirical constant,  $k = 0.04-0.06$ )

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 特征提取—Harris点检测

- $R$ 只与 $M$ 的特征值有关
- 角点:  $R$ 为大数值正数
- 边缘:  $R$ 为大数值负数
- 平坦区:  $R$ 为小数值



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

### Harris点检测:

- 计算图像的梯度: 首先, 对输入图像应用梯度算子 (如 Sobel 算子) 来计算图像在 $x$ 和 $y$ 方向上的梯度值。这样可以获得图像中每个像素点的梯度强度和梯度方向。
- 计算结构张量: 在每个像素处, 通过计算窗口内像素的梯度乘积的和来构建结构张量。结构张量包括三个元素:  $I_x^2$  ( $x$ 方向梯度的平方)、 $I_y^2$  ( $y$ 方向梯度的平方) 和  $I_x I_y$  ( $x$ 和 $y$ 方向梯度的乘积)。
- 计算Harris响应函数: 根据结构张量的元素, 计算Harris响应函数的值。Harris响应函数可以通过以下公式计算:  
 $R = \det(M) - k * \text{trace}(M)^2$   
其中,  $\det(M)$ 表示结构张量的行列式,  $\text{trace}(M)$ 表示结构张量的迹,  $k$ 是一个可调参数 (通常取较小的值)。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

4. 非极大值抑制：对计算得到的Harris响应函数进行非极大值抑制。遍历图像中每个像素，与其相邻的像素进行比较，如果当前像素的Harris响应函数值大于相邻像素的值，则保留该像素，否则将其抑制。
5. 阈值化：对抑制后的Harris响应函数进行阈值化处理，将小于设定阈值的角点过滤掉，保留大于阈值的角点。
6. 角点标记：将阈值化后的角点在原始图像上进行标记，以便可视化角点检测结果。

Harris角点检测算法通过计算图像中每个像素处的Harris响应函数来检测角点。Harris响应函数结合了结构张量的信息，对角点区域具有较高的响应值。通过阈值化和非极大值抑制，可以得到最终的角点检测结果。请注意，以上步骤是对Harris角点检测算法的基本描述，实际应用中可能会有一些优化和调整的细节。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

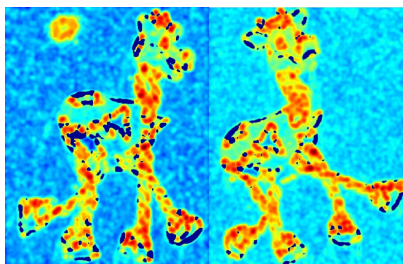
## 特征提取—Harris点检测



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 特征提取—Harris点检测

角点响应函数R



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

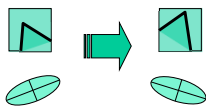
## 特征提取—Harris点检测



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 特征提取—Harris点检测(优点)

- 旋转不变性：



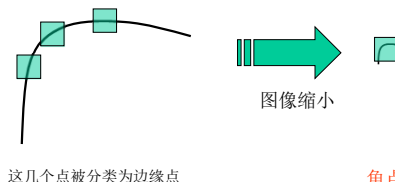
椭圆转过一定角度但是其形状保持不变（特征值保持不变）此方法对图像旋转、亮度变化、视角变化和噪声的影响具有很好的鲁棒性。

角点响应函数  $R$  对于图像的旋转具有不变性

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 特征提取—Harris点检测(缺点)

- 对于图像几何尺度变化不具有不变性：



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

如何解决图像几何尺度变化不  
具有不变性？

并且不局限与检测角点。我们  
下一趟课进行详细讲解

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine