

图像特征点提取

National Laboratory of Pattern Recognition

Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences



模式识别国家重点实验室

中国科学院自动化研究所

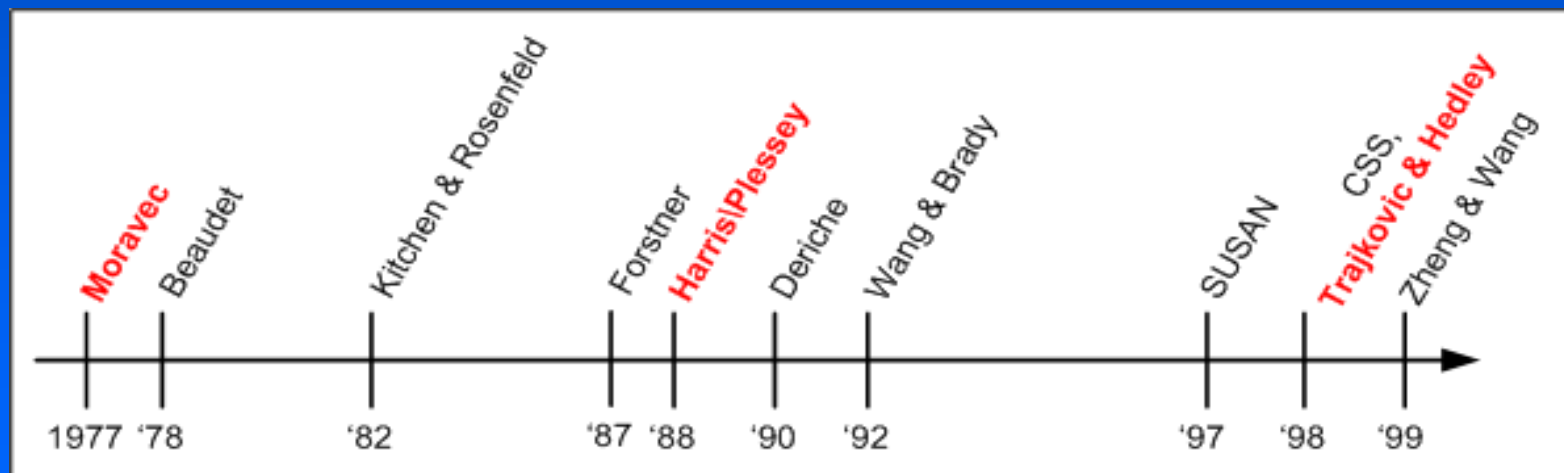
提取点特征的作用

- 图像的点特征是许多计算机视觉算法的基础：**使用特征点来代表图像的内容**
 - 运动目标跟踪
 - 物体识别
 - 图像配准
 - 全景图像拼接
 - 三维重建

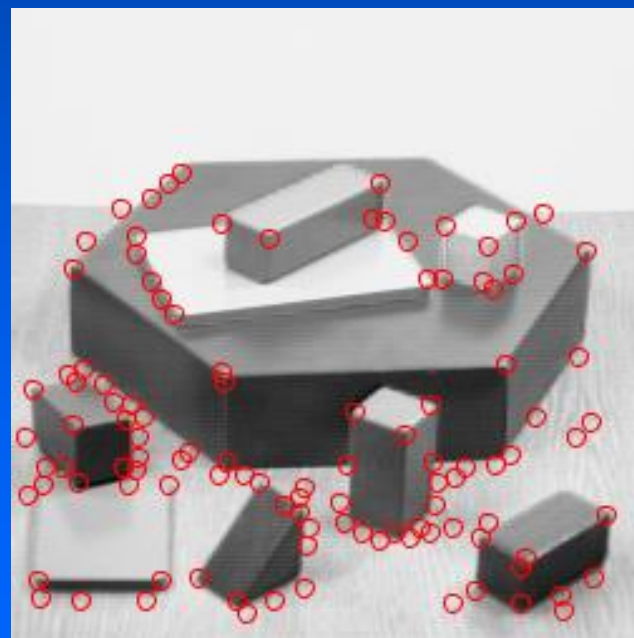
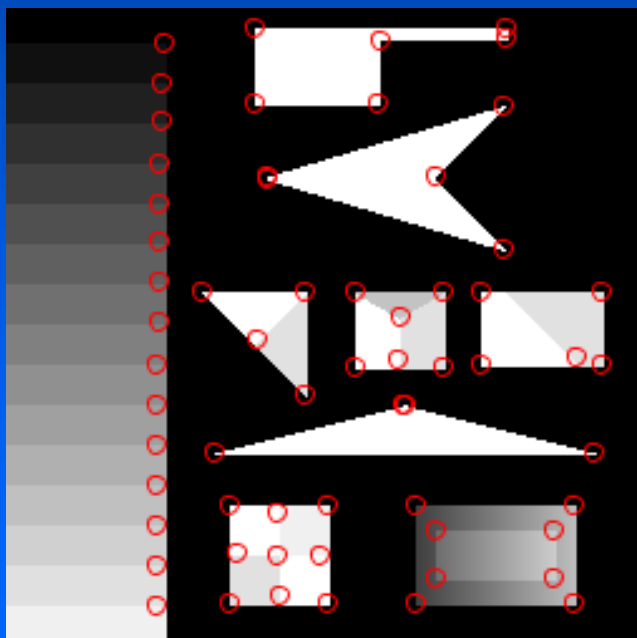
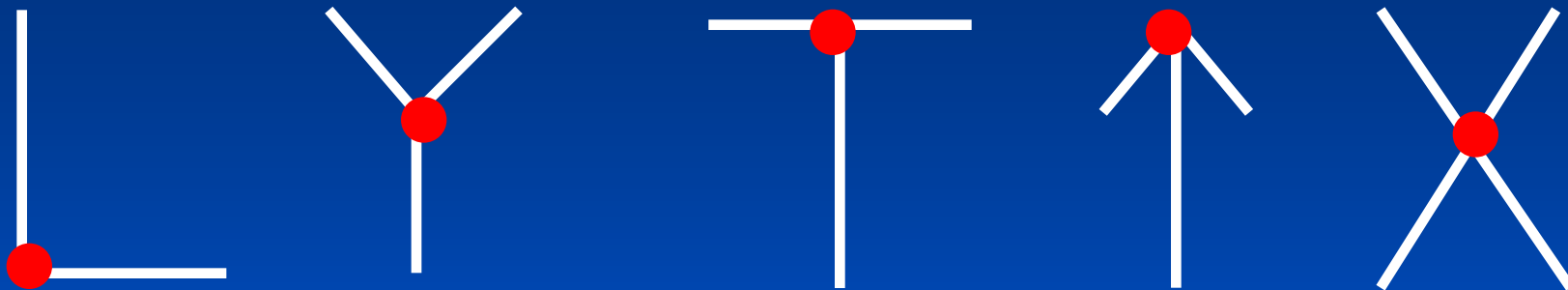


一类重要的点特征：角点

- 角点 (corner points) :
 - 局部窗口沿各方向移动, 均产生明显变化的点
 - 图像局部曲线曲率突变的点
- 典型的角点检测算法:
 - Harris角点检测
 - CSS角点检测



不同类型的角点



National Laboratory of Pattern Recognition

Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences



模式识别国家重点实验室

中国科学院自动化研究所

什么是好的角点检测算法？

- 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



Harris 角点检测

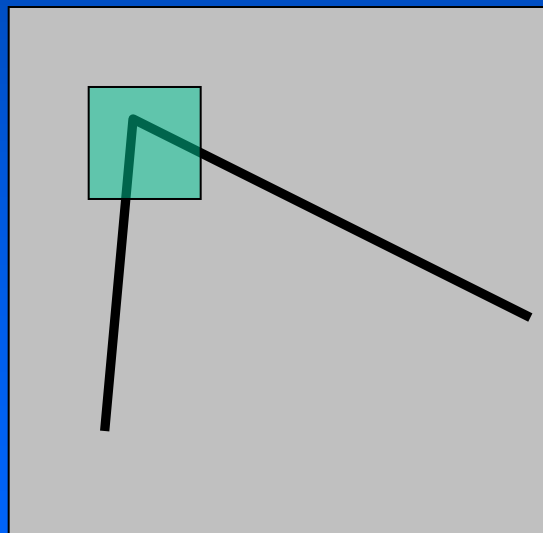
C.Harris, M. Stephens. “A Combined Corner and Edge Detector”. Proc of 4th Alvey Vision Conference, 1988.

C.Harris was with The Plessey Company plc. U.K. in 1988.

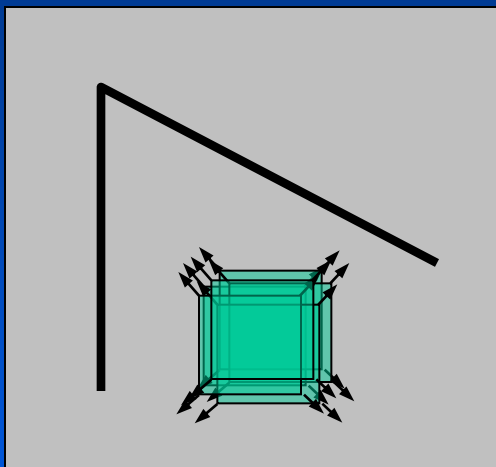


Harris角点检测基本思想

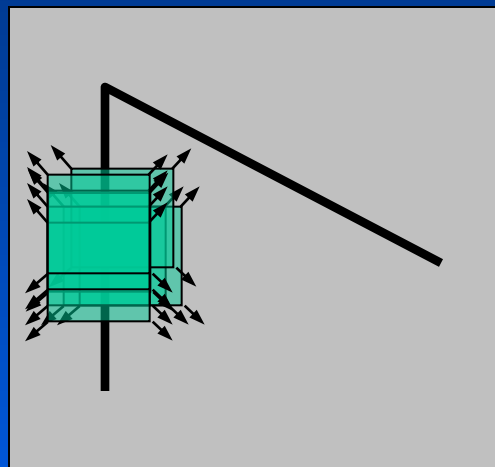
- 从图像局部的小窗口观察图像特征
- 角点定义 \leftarrow 窗口向任意方向的移动都导致图像灰度的明显变化



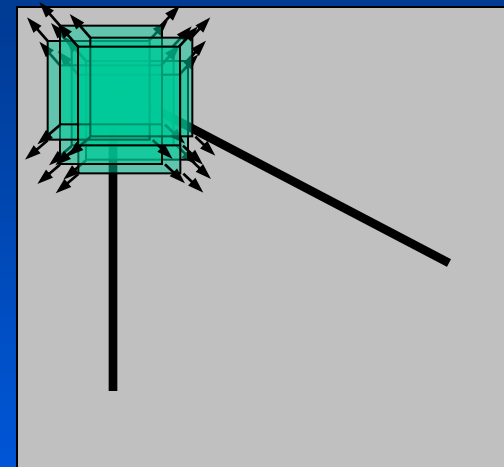
Harris角点检测基本思想



平坦区域：
任意方向移动，
无灰度变化



边缘：
沿着边缘方向移动，
无灰度变化



角点：
沿任意方向移动，
明显灰度变化

Harris检测：数学表达

将图像窗口平移 $[u,v]$ 产生灰度变化 $E(u,v)$

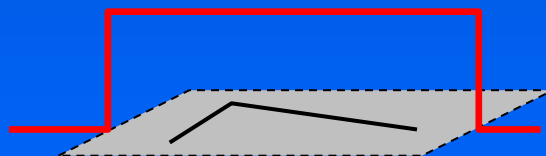
$$E(u,v) = \sum_{x,y} w(x,y) [I(x+u, y+v) - I(x,y)]^2$$

窗口函数

平移后的
图像灰度

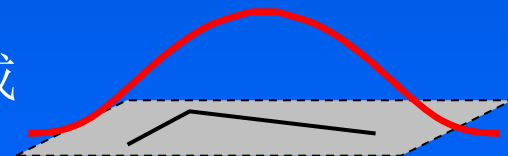
图像灰度

窗口函数 $w(x,y) =$



1 in window, 0 outside

或



Gaussian

Harris检测：数学表达

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

由： $I(x+u, y+v) = I(x, y) + I_x u + I_y v + O(u^2, v^2)$

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

$$(I_x u + I_y v)^2 = I_x^2 u^2 + 2I_x I_y uv + I_y^2 v^2$$

$$= \begin{pmatrix} u & v \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}$$



Harris检测：数学表达

于是对于局部微小的移动量 $[u, v]$ ，可以近似得到下面的表达：

$$E(u, v) \cong [u, v] M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$

其中 M 是 2×2 矩阵，可由图像的导数求得：

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

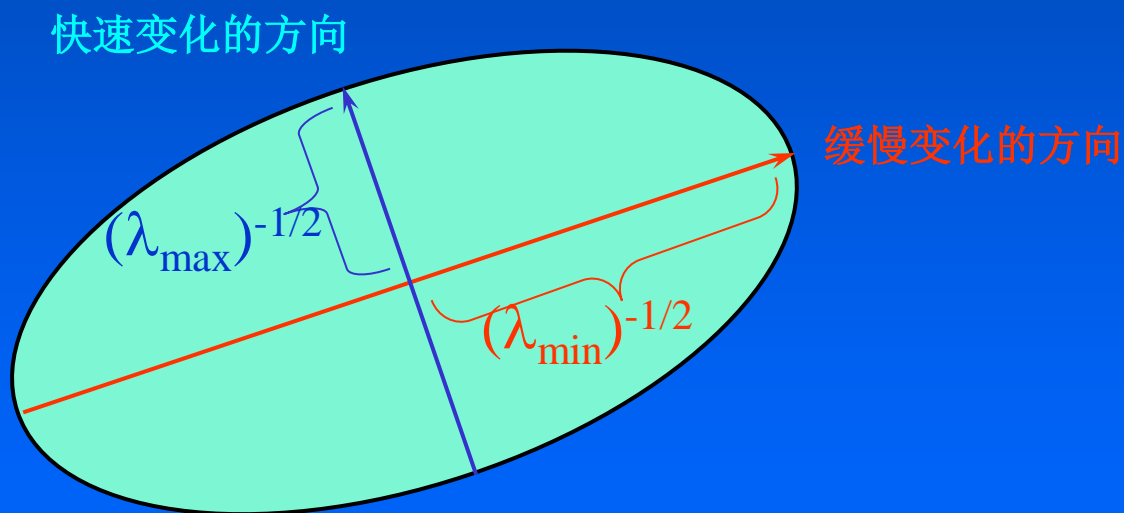


Harris检测：数学表达

窗口移动导致的图像变化：实对称矩阵 M 的特征值分析

$$E(u, v) \cong [u, v] M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad \lambda_{\max}, \lambda_{\min} \leftarrow M \text{ 的特征值}$$

$E(u, v)$ 的椭圆形式



Harris检测：数学表达

通过 M 的两个特征值的大小对图像点进行分类：

如果 λ_1 和 λ_2 都很小，
图像窗口在所有方向上
移动都无明显灰度变化

λ_2

“Edge”

$\lambda_2 \gg \lambda_1$

● “Corner”

λ_1 和 λ_2 都较大且数值相当 $\lambda_1 \sim \lambda_2$;
图像窗口在所有方向上移动都产生明显灰度变化

“Flat”
region

“Edge”

$\lambda_1 \gg \lambda_2$

λ_1

Harris检测：数学表达

定义：角点响应函数 R

$$R = \det M - k (\text{trace } M)^2$$

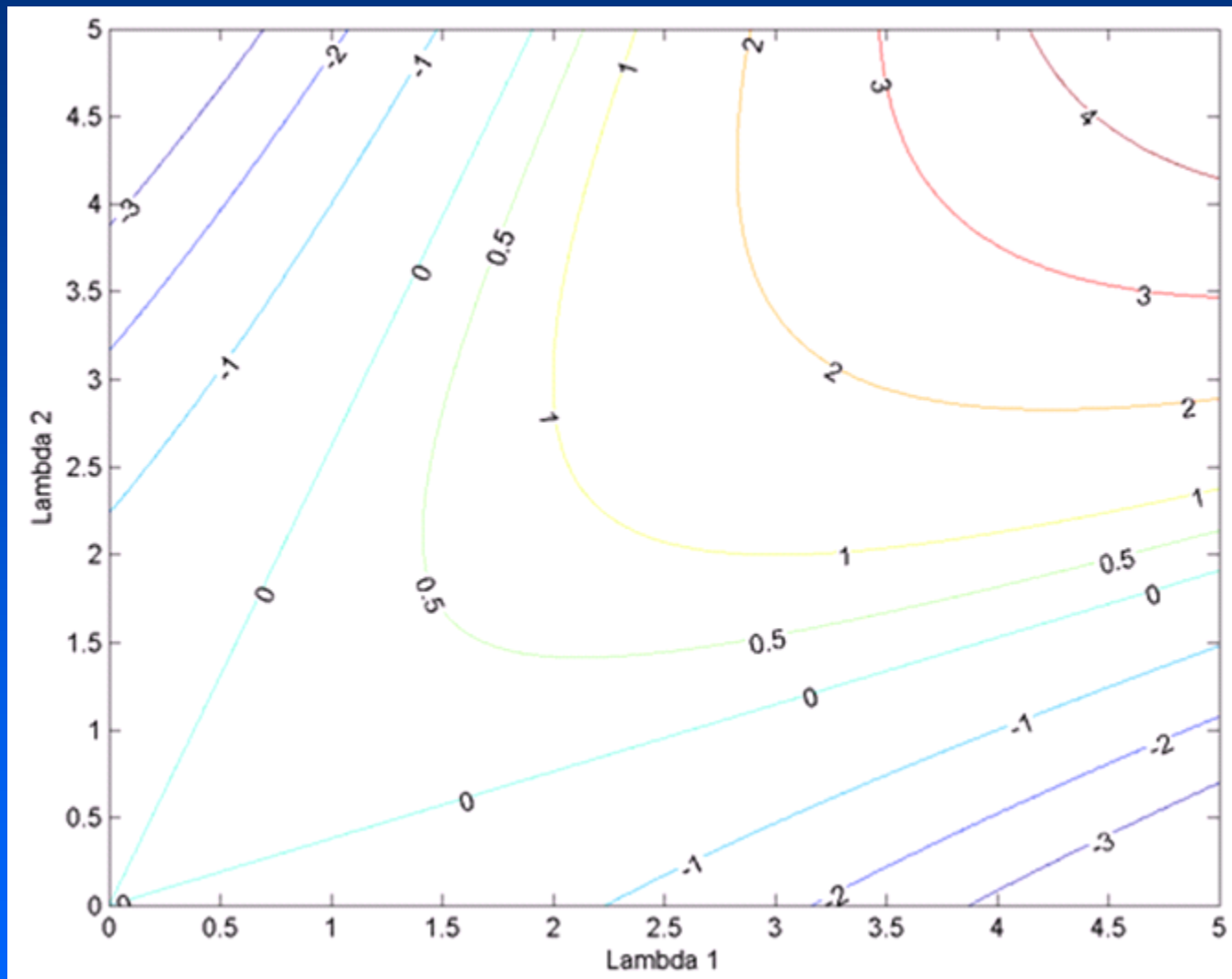
$$\det M = \lambda_1 \lambda_2$$

$$\text{trace } M = \lambda_1 + \lambda_2$$

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



R的等高线图 ($k=0.2$)



National Laboratory of Pattern Recognition

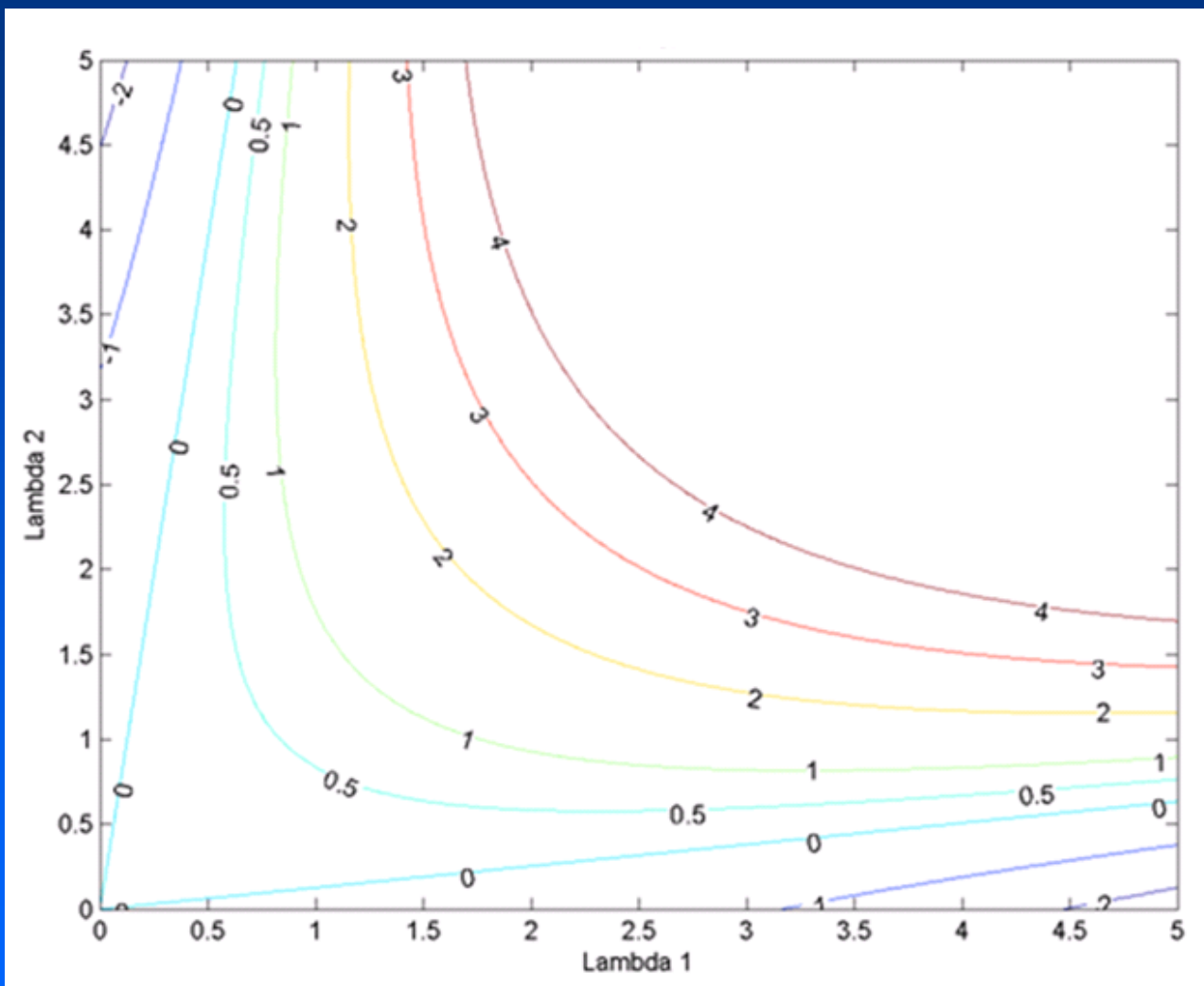
Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences



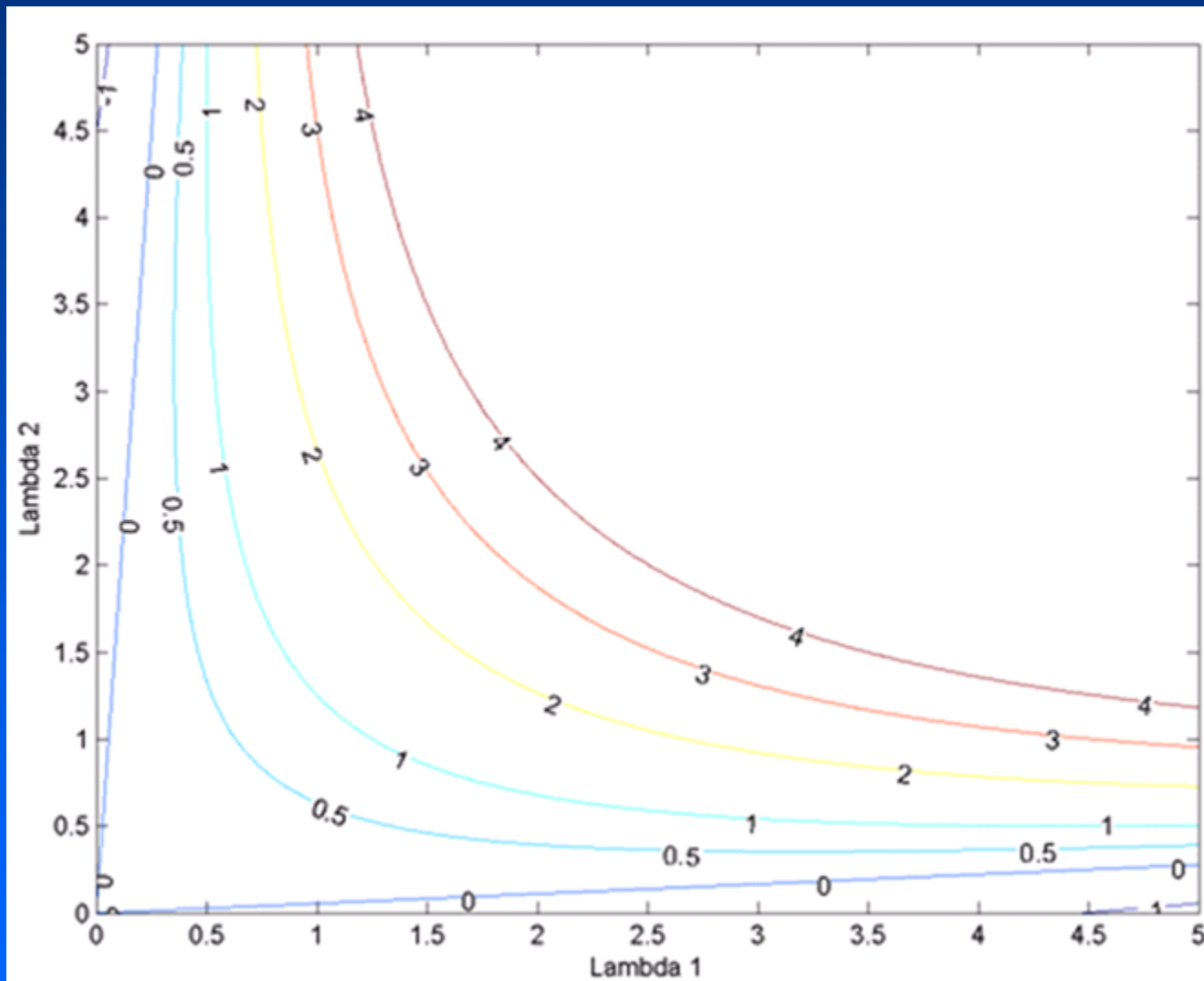
模式识别国家重点实验室

中国科学院自动化研究所

R的等高线图 ($k=0.1$)



R的等高线图 ($k=0.05$)



National Laboratory of Pattern Recognition

Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences

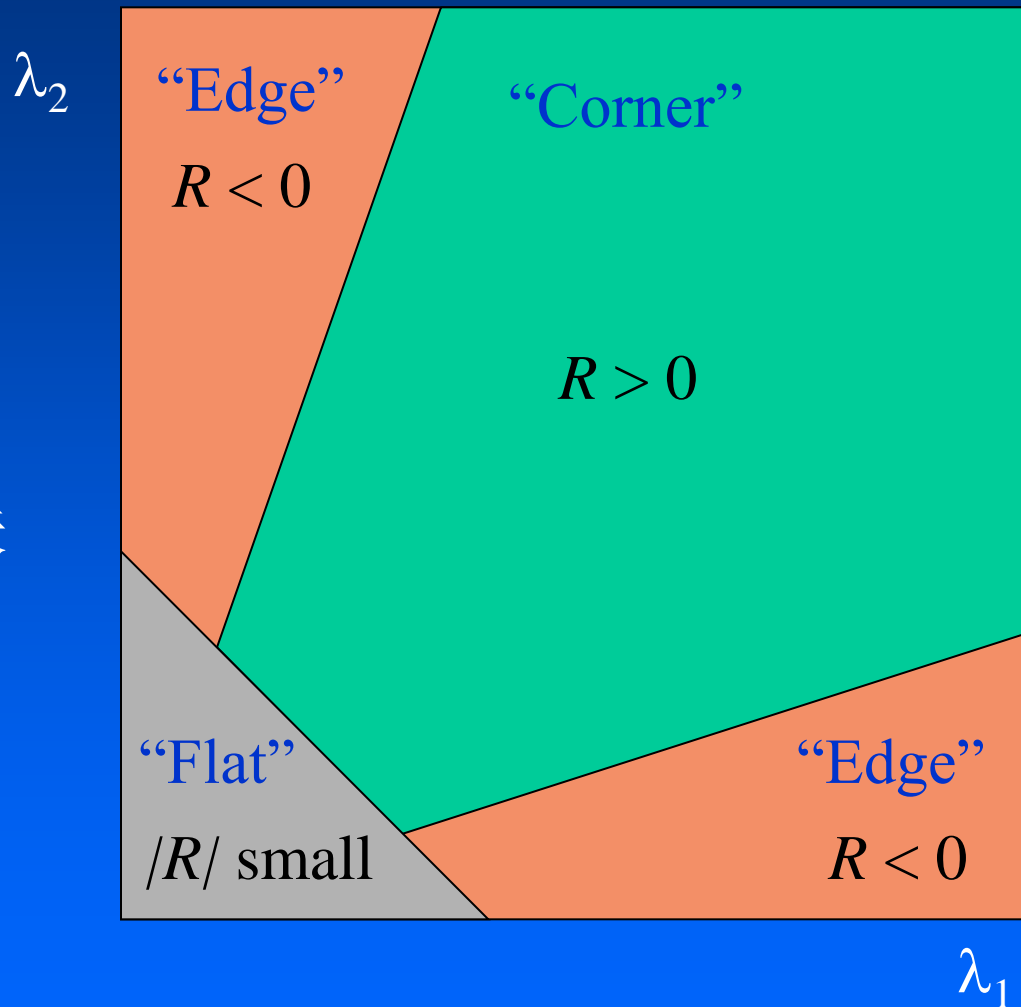


模式识别国家重点实验室

中国科学院自动化研究所

Harris检测：数学表达

- 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



Harris角点检测

- 算法:
 - 对角点响应函数 R 进行阈值处理:
$$R > \text{threshold}$$
 - 提取 R 的局部极大值

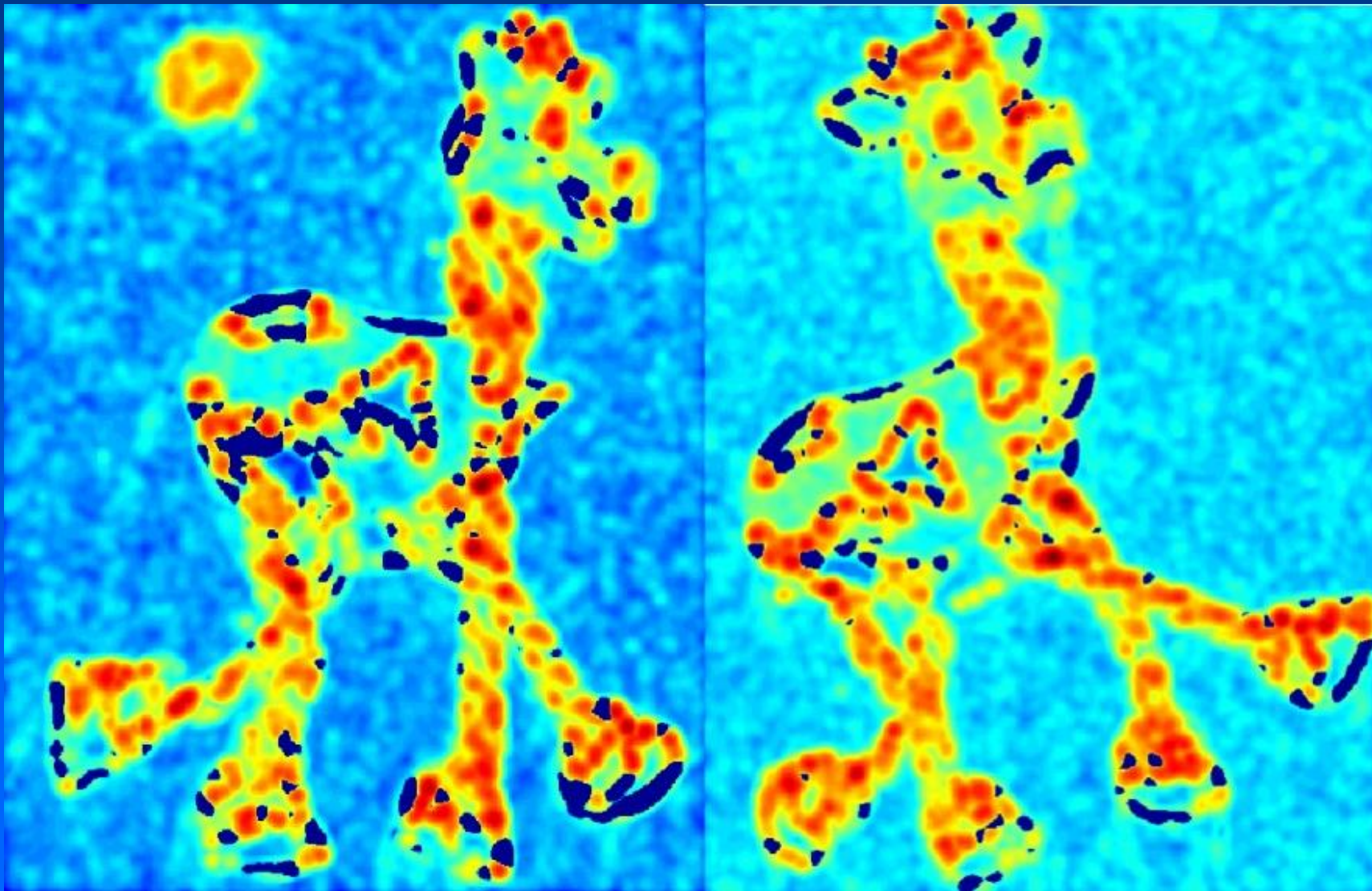


Harris角点检测：流程



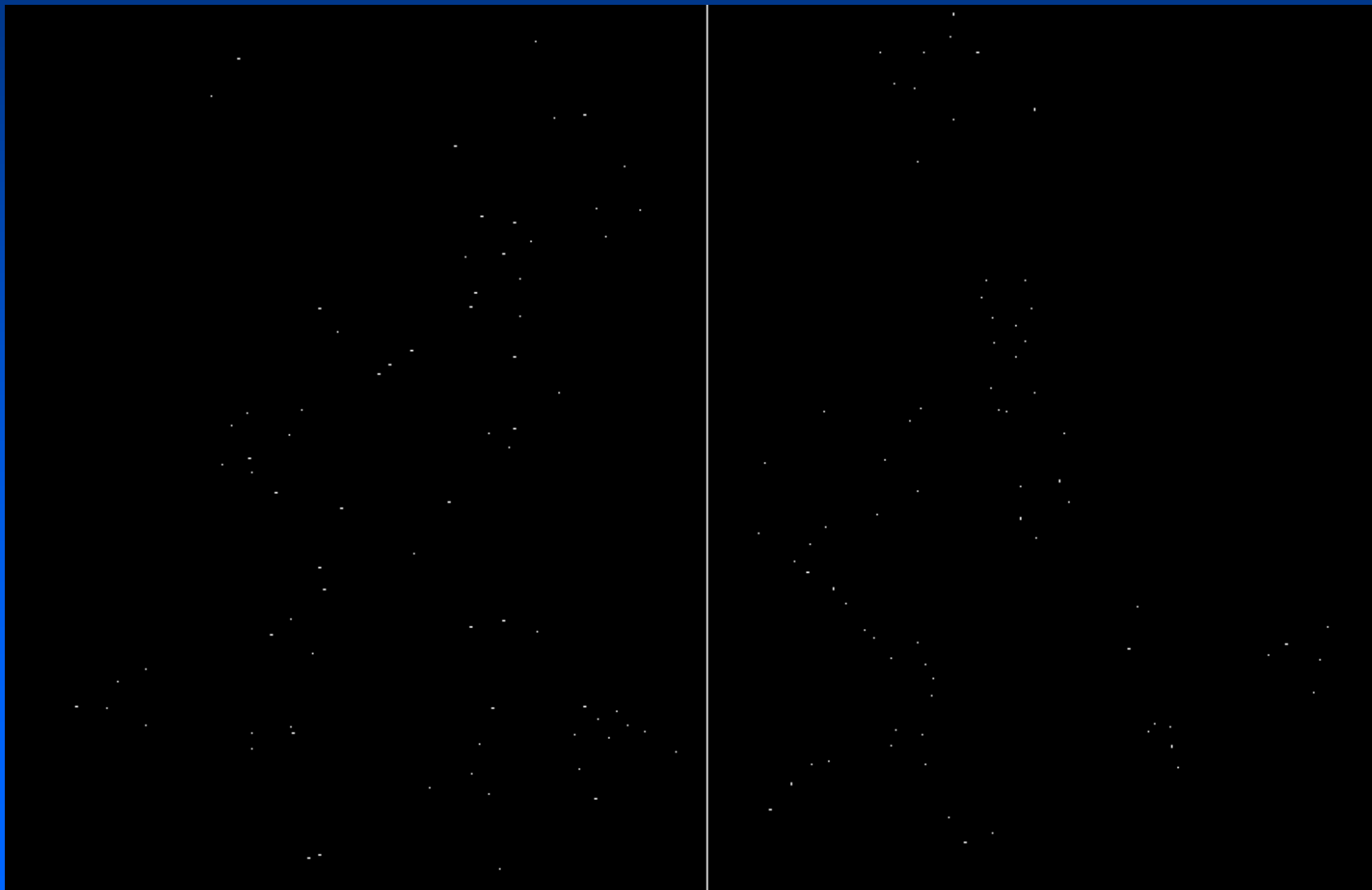
Harris角点检测：流程

角点响应函数R



Harris角点检测：流程

提取R的局部极值



Harris角点检测：流程



Harris角点检测：小结

- 沿方向 $[u, v]$ 的平均灰度变化可以表达成双线性形式：

$$E(u, v) \cong [u, v] M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$

- 使用 M 的特征值表达图像点局部灰度变化的情况，定义角点响应函数：

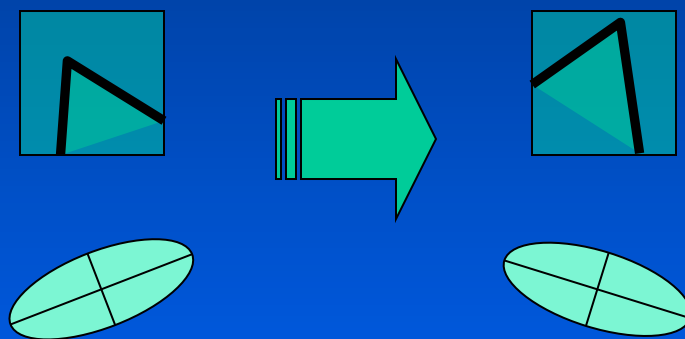
$$R = \lambda_1 \lambda_2 - k (\lambda_1 + \lambda_2)^2$$

- 一个好的角点沿着任意方向移动都将导致明显的图像灰度变化，即： R 具有大的正数值。



Harris角点的性质

- 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)

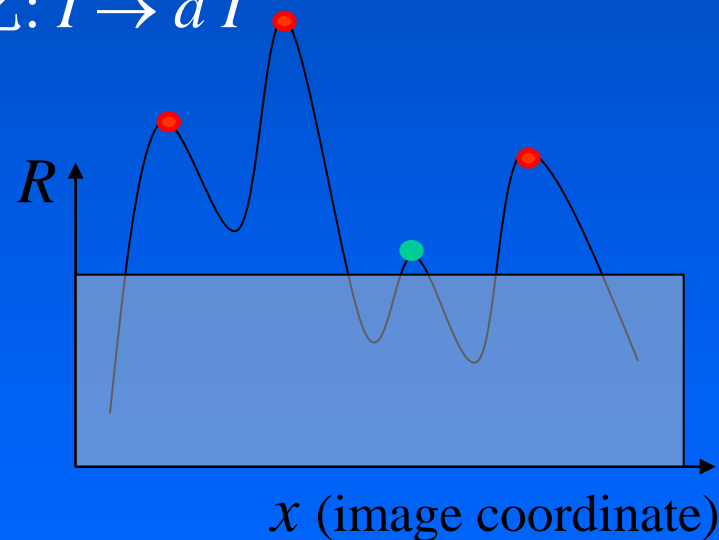
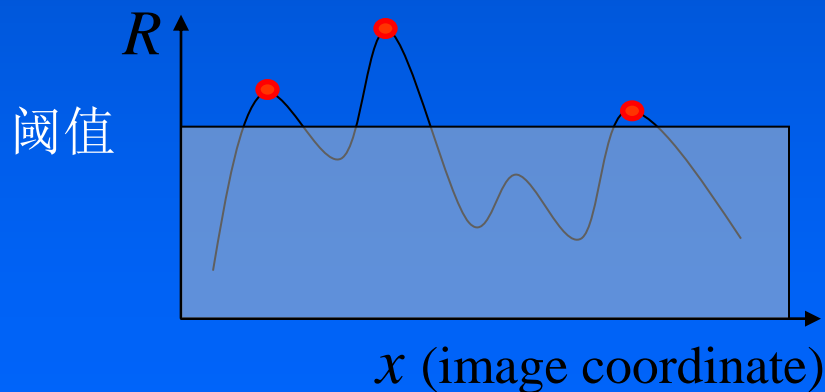
角点响应函数 R 对于图像的旋转具有不变性

Harris角点的性质

- 对于图像灰度的仿射变化具有部分的不变性
 - ✓ 只使用了图像导数 \Rightarrow 对于灰度平移变化不变

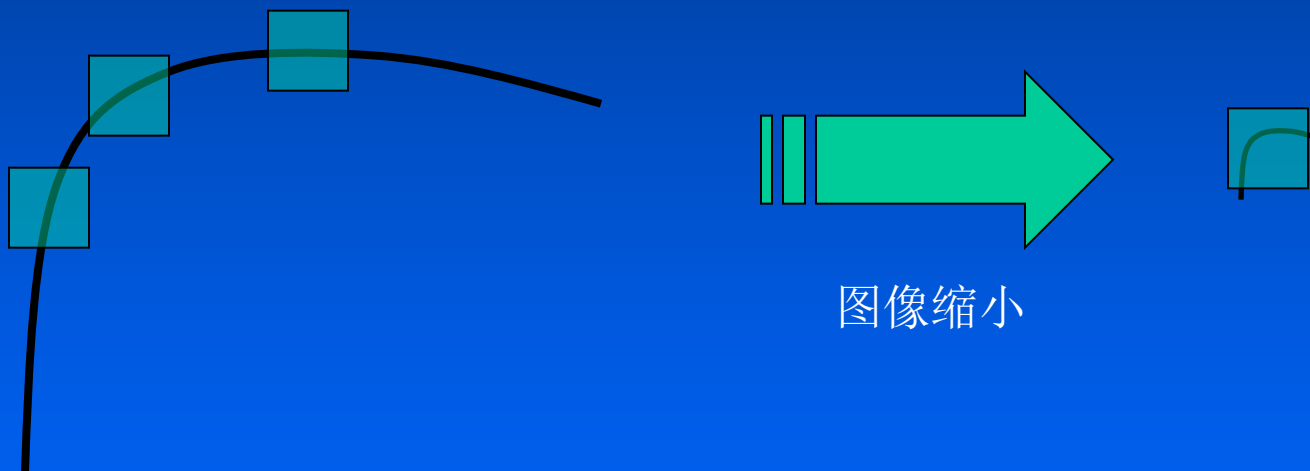
$$I \rightarrow I + b$$

- ✓ 对于图像灰度的尺度变化: $I \rightarrow a I$



Harris角点的性质

- 对于图像几何尺度变化不具有不变性:



这几个点被分类为边缘点

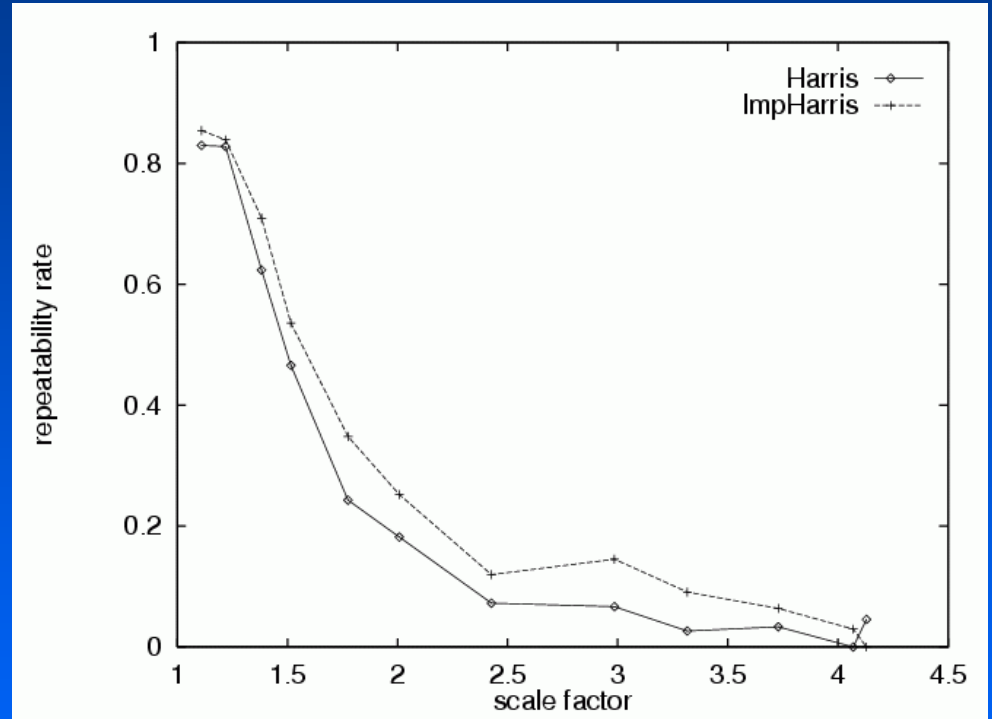
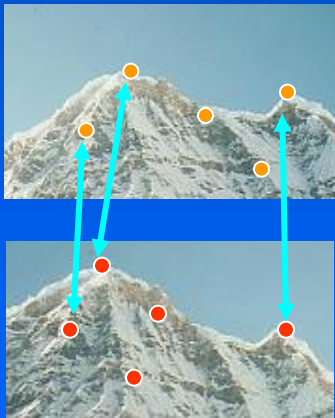
角点！

Harris角点的性质

- 随尺度变化, Harris角点检测的性能下降

Repeatability rate:

$$\frac{\# \text{ correspondences}}{\# \text{ possible correspondences}}$$



C.Schmid et.al. "Evaluation of Interest Point Detectors". IJCV 2000

National Laboratory of Pattern Recognition

Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences



模式识别国家重点实验室

中国科学院自动化研究所

参考

- Harris角点:

C.Harris, M.Stephens. “A Combined Corner and Edge Detector”. Proc. of 4th Alvey Vision Conference, 1988

- 一个介绍角点检测的网站:

<http://www.cim.mcgill.ca/~dparks/CornerDetector/index.htm>

- 一个PPT讲义: Darya Frolova, Denis Simakov, Matching with Invariant Features, The Weizmann Institute of Science, March 2004

