

关键点、关键点
特征点概念：与周围像素点具有不同特性的像素

- ① 反映目标形状
- ② 反映目标姿态
- ③ 人体姿态转换
- ④ 反映场景特征
- ⑤ 立体匹配

与核有相同值的区域

SUSAN 算子（最小同值核）

用于检测角点、边缘；不需计算微分，对噪声不敏感。
 $\frac{1}{2}S_{min} \approx \frac{1}{2}S_{max}$ 对于离散模板而言，不满足

步骤① 设定模板 \Rightarrow 常取矩形模板

② 将模板内每个像素灰度与核灰度值进行比较

边缘阈值

$$C(x_0, y_0; x, y) = \begin{cases} 1, & |f(x_0, y_0) - f(x, y)| \leq T \\ 0, & |f(x_0, y_0) - f(x, y)| > T \end{cases}$$

③ 输出游程和

$$S(x_0, y_0) = \sum_{(x, y) \in M(x_0, y_0)} C(x_0, y_0; x, y)$$

理论上 $\frac{S_{max}}{S_{min}}$ 为角点，
 $\frac{S_{max}}{S_{min}}$ 为边缘
不包括 (x_0, y_0)

④ 计算响应 $R(x_0, y_0)$

$$R(x_0, y_0) = \begin{cases} G - S(x_0, y_0) & \text{if } S(x_0, y_0) < G \\ 0 & \text{other} \end{cases}$$

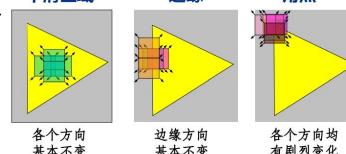
更稳定的游程计算公式 $C(x_0, y_0; x, y) = \exp\left\{-\frac{|f(x_0, y_0) - f(x, y)|^2}{T}\right\}$

特点：无微分计算，抗噪性；对边缘响应随着边缘平滑或模糊而增强；
能提供依赖于模板尺寸的边缘精度；控制参数 T 的选择很简单且任意性较小

T 越小核同值区小，检测到边缘点和角点越多
 G 越小，对检测得到的边缘点和角点要求越高，角点越尖

Harris 算子

通过一个滑动窗口检测角点；若窗口以角点为中心，那么在任意方向上平移该窗口，窗口内灰度值将会有剧烈的变化



原理：设平移量为 (u, v) ，用图像的自相关函数表示窗口内灰度值的变化

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

窗口函数 $W(x, y) = \text{Gaussian}$

由 Taylor 展开近似于垂直方向

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

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

矩阵形式

$$E(u, v) \cong [u, v] M [u, v]^T$$

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

计算矩阵 M 的两个特征值：两个都很大为角点，
一大一小为边缘，两个都小图像区域变化缓慢

利用矩阵 M 两个特征值和为从的迹，两个特征值的积等从的行列式，故 Harris 角点响应值

$$R = \det M - k (\text{Trace } M)^2, k = 0.04 \sim 0.06$$

响应大于阈值的点为候选点；非最大抑制去除干扰

上述特征点检测算法仅给出特征点位置；缺乏特征点性质描述：尺度、方向、响应（描述）

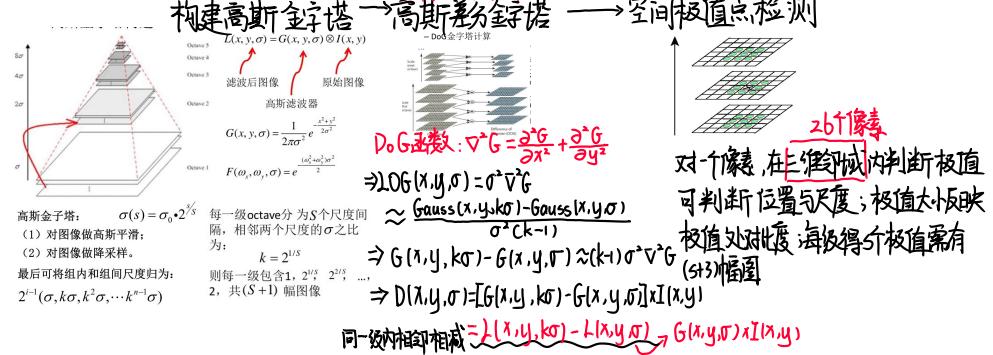
SIFT 尺度不变特征变换算子

步骤：① 尺度空间极值检测

计算简单；提供尺度归一化 \log
算子良好近似 Loc 极值

比 Hessian Harris 提高稳定性

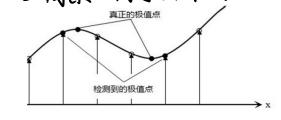
低复杂度



② 关键点定位

亚像素（子像素）精确定位

→ 去除边缘点



由于 DoG 算子对边缘也很敏感，在边缘处也有很大的响应值。利用 Hessian 矩阵来处理边缘点。

在极值点处，利用 $D(\mathbf{x})$ 计算 Hessian 矩阵

$$H = \begin{bmatrix} D_{xx} & D_{xy} \\ D_{yx} & D_{yy} \end{bmatrix}$$

$D(\mathbf{x})$ 的主曲率，在边缘梯度的方向上比较大，而在沿着边缘的方向上则较小，且与 H 的特征值成正比。

利用矩阵 H 两个特征值的和等于 H 的迹，两个特征值的积等于 H 的行列式，有

$$\frac{\text{Tr}^2(H)}{\det(H)} = \frac{(r+1)^2}{r}$$

利用 $\hat{\mathbf{x}}$ 处的高斯差分值 $D(\hat{\mathbf{x}})$ ，去除对比度较低的不稳定极值点。其中 r 为 H 的大特征值与小特征值之比

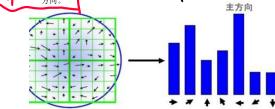
其中 $\hat{\mathbf{x}} = (x, y)^T$ ，
 $\hat{\mathbf{x}} = \frac{\partial^2 D}{\partial x^2} \hat{\mathbf{x}}$

设对比例度阈值为 T_r ，则当 $|D(\hat{\mathbf{x}})| < T_r$ 时，去除极值点 $\hat{\mathbf{x}}$ 。

对比例度阈值为 T_c ，则当 $|D(\hat{\mathbf{x}})| > T_c$ 时，去除极值点 $\hat{\mathbf{x}}$ 。

③ 获取关键点的方向

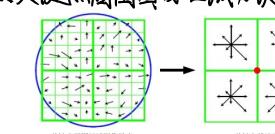
据关键点尺度在高斯金字塔对应图像的关键点位置处的局部区域计算梯度直方图。直方图峰值对应得方向即为关键点的方向



④ 关键点描述

目的：利用关键点及其周围像素，计算一个特征向量，用于描述每个关键点，

思路：通过对关键点周围图像区域分块，计算块内梯度直方图，生成特征向量



确定用于计算关键点描述的局部区域

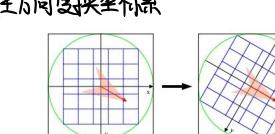
描述子梯度方向直方图由关键点所在尺度的模糊图像计算产生，局部区域的半径通过下式计算

$$\text{radius} = \frac{3 \cdot \text{Oct} \cdot \sqrt{k} \cdot \sqrt{cd+1}}{2}$$

$$\text{diameter} = b\sigma + 1$$

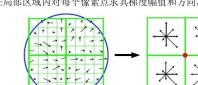
其中 σ 为关键点所在尺度

根据关键点至方向变换坐标系



计算关键点描述

在局部区域内对每个像素点求其梯度幅值和方向，生成方向直方图



描述子向量归一化：克服光照影响，主要是增益的影响

方向直方图每个方向上梯度幅值限制在一定门限值以下（门限一般取 0.2，像素灰度值在 0~1 范围内）；克服相机饱和、光照对 3D 表面不同方向影响不同等非线性光照情形

归一化关键点描述