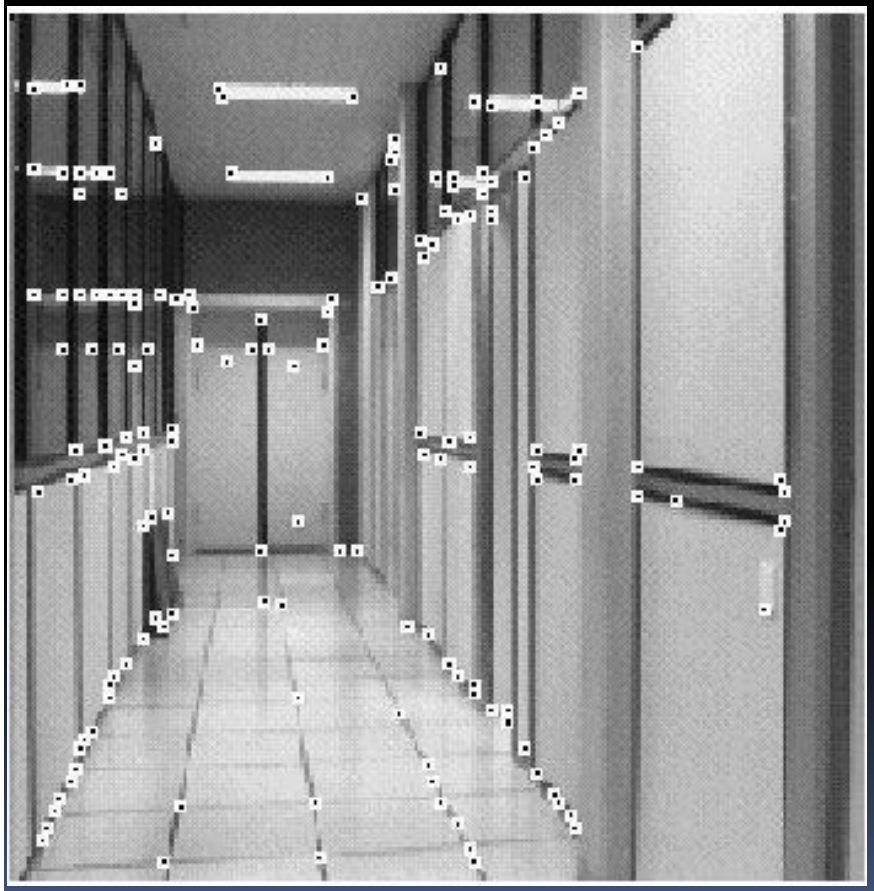
See book Chapter 4.1

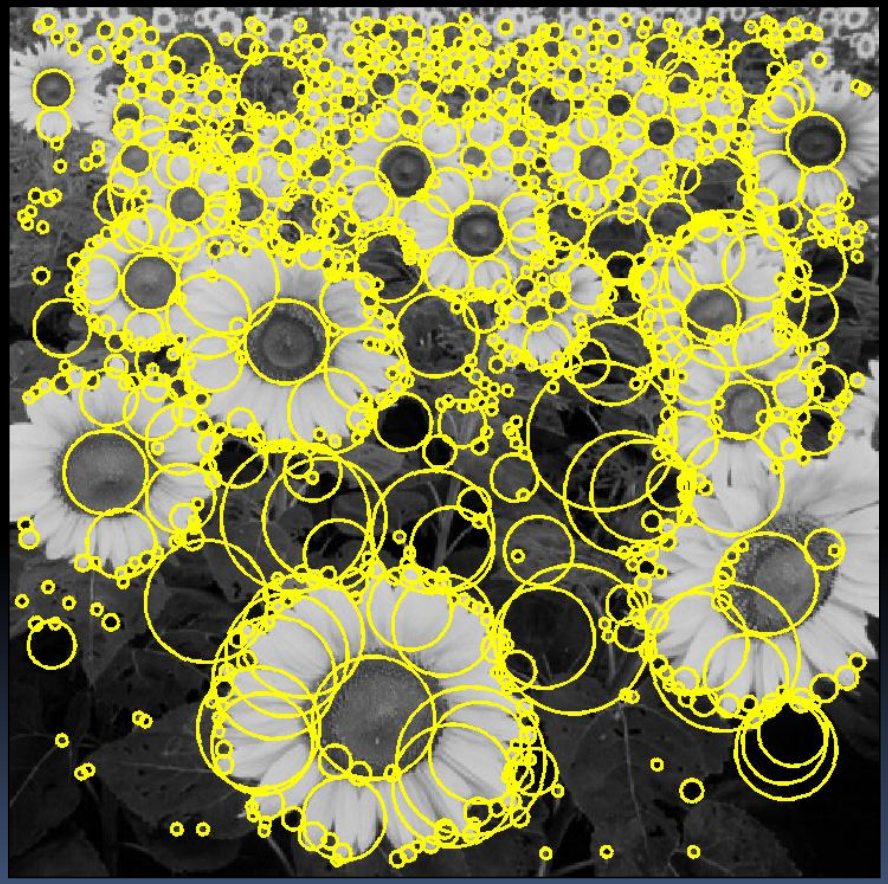
IMAGE FEATURES（图像特征）

Local & Global Feature

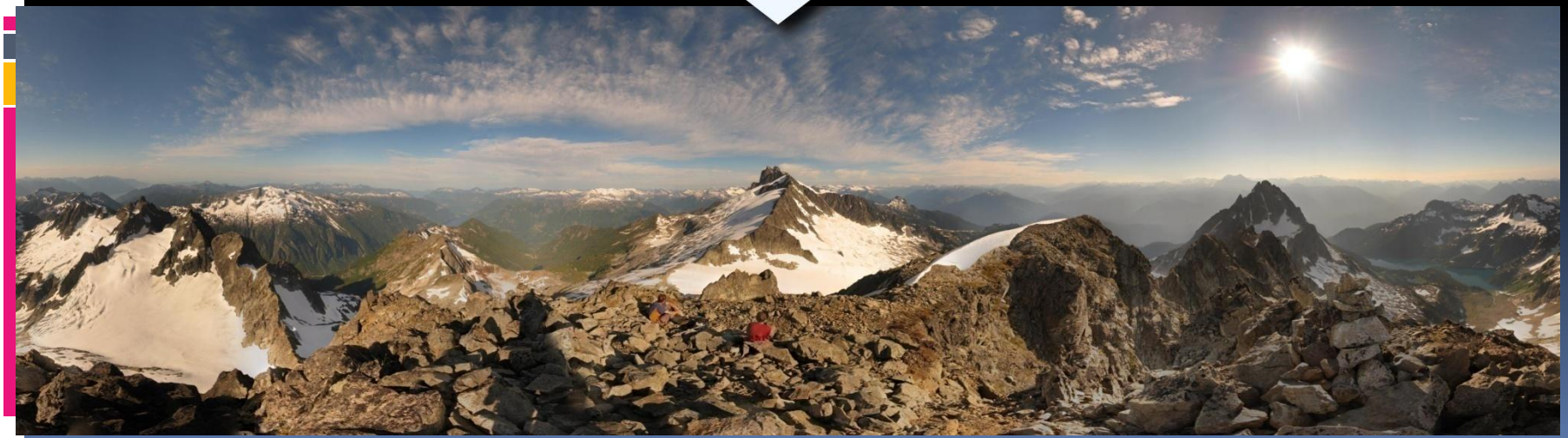
- Feature
  - Information extracted from images
- Local Feature （局部特征）
  - Point, region based（描述点或局部区域）. For example, Sift in this section
    - Detection, description, matching, etc.（检测、描述、匹配）
- Global Feature（全局特征）
  - Whole image based（描述整个图像）. For example, color histograms，（非严格区分）
    - Description, matching, etc.（描述、匹配）

Features: corner & blob





Motivation: Panoramas（全景图）



Panoramas

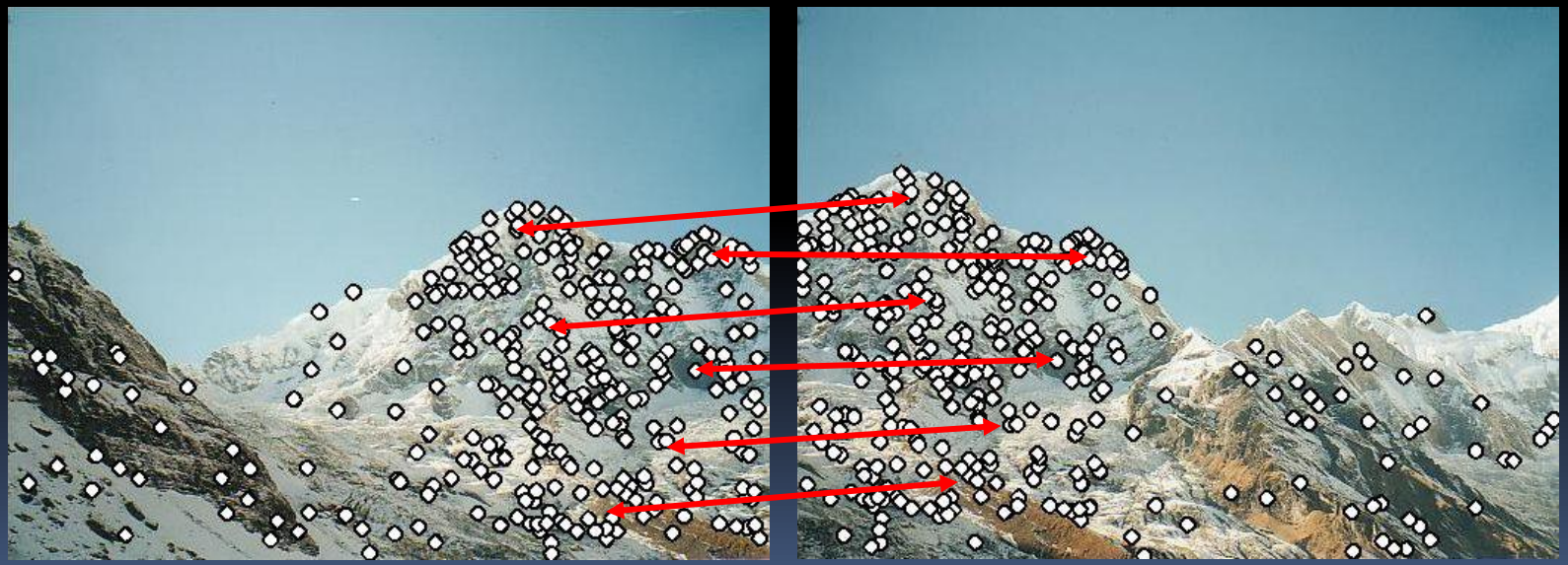
HD View
http://research.microsoft.com/en-us/um/redmond/groups/ivm/HDView/HDGigapixel.htm

Also see GigaPan:
http://gigapan.org/

特征的用途

- 示例: panorama stitching（全景图拼接）
  - 两张图如何拼接?

- Step 1: extract features（提取特征）
- Step 2: match features（匹配特征）



- Step 1: extract features（提取特征）
- Step 2: match features（匹配特征）
- Step 3: align images（图像对齐）

Image matching

by Diva Sian

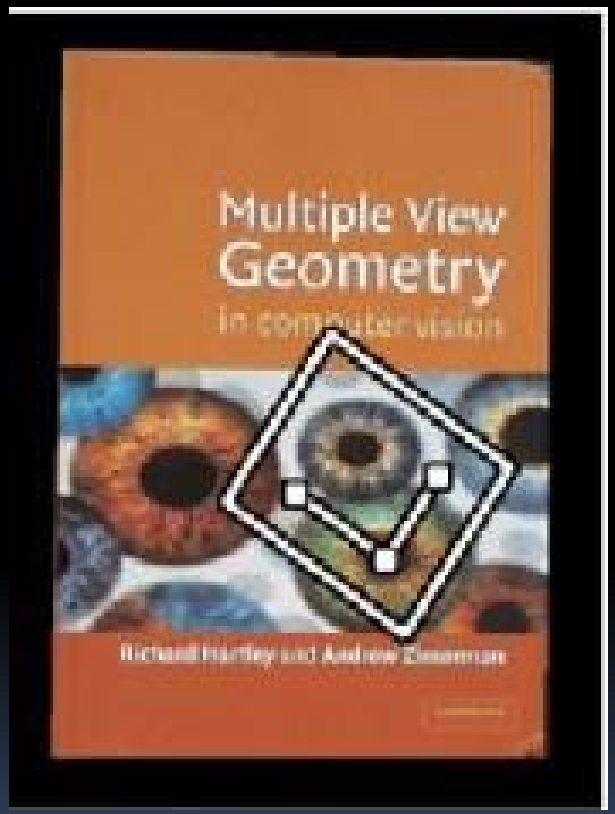
by swashford

Harder case

by Diva Sian

by scgbt

Feature Matching（特征匹配）



Feature Matching

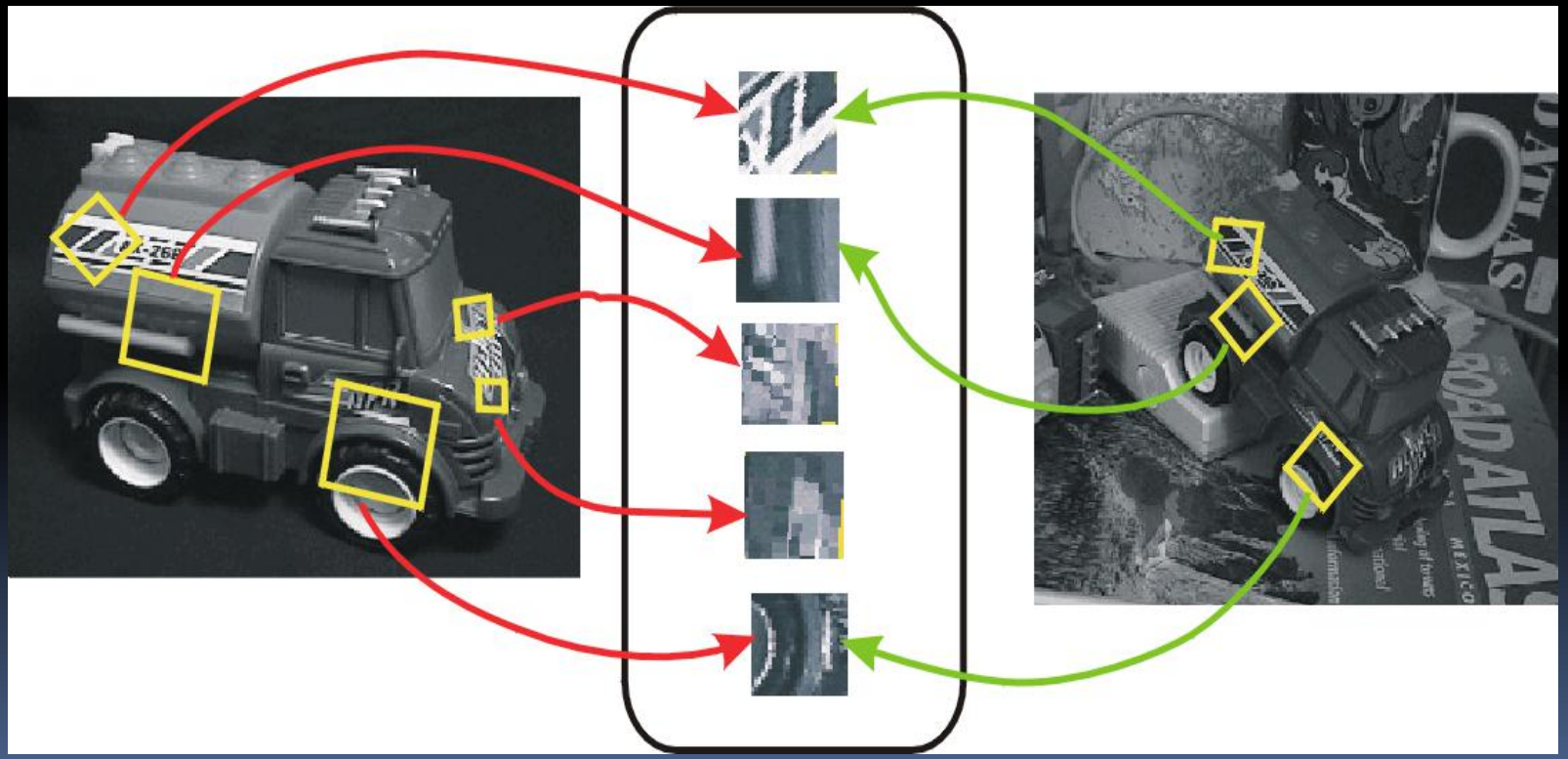
局部特征点检测匹配

- 特征点检测
  - 在图像中寻找可能的特征点位置
- 特征点描述
  - 计算机表示的特征点信息
- 特征点匹配
  - 特征点描述之间的相似度量

特征点要求：局部不变性

寻找具有变换（Transform）后保持局部不变性的特征

- Geometric（几何） invariance: 平移、旋转、缩放
- Photometric（光照） invariance: 亮度、曝光

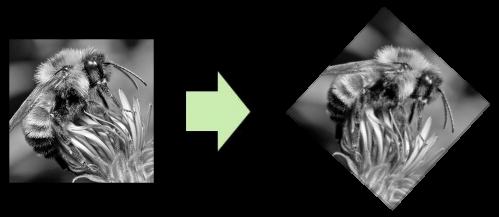


Feature Descriptors

Image transformations

- Geometric

Rotation



Scale

- Photometric

Intensity change

局部特征的要求和特点

Locality （局部特征）

- features are local, so robust to occlusion and clutter

Quantity（数量多）

- hundreds or thousands in a single image

Distinctiveness（具有区分度）

- can differentiate a large database of objects

Efficiency（高性能处理）

- real-time performance achievable

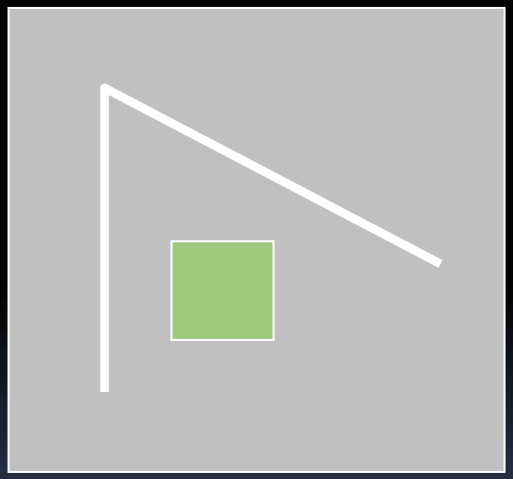
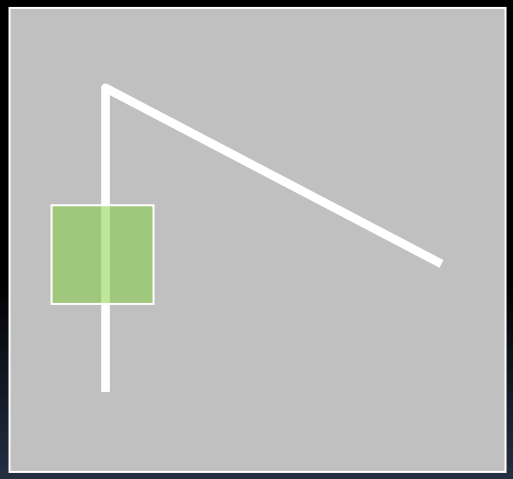
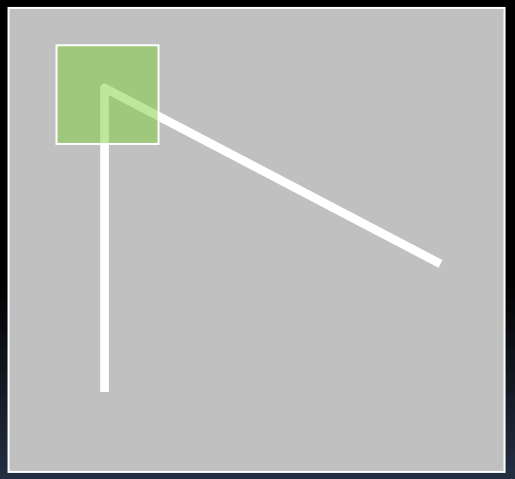
More motivation…

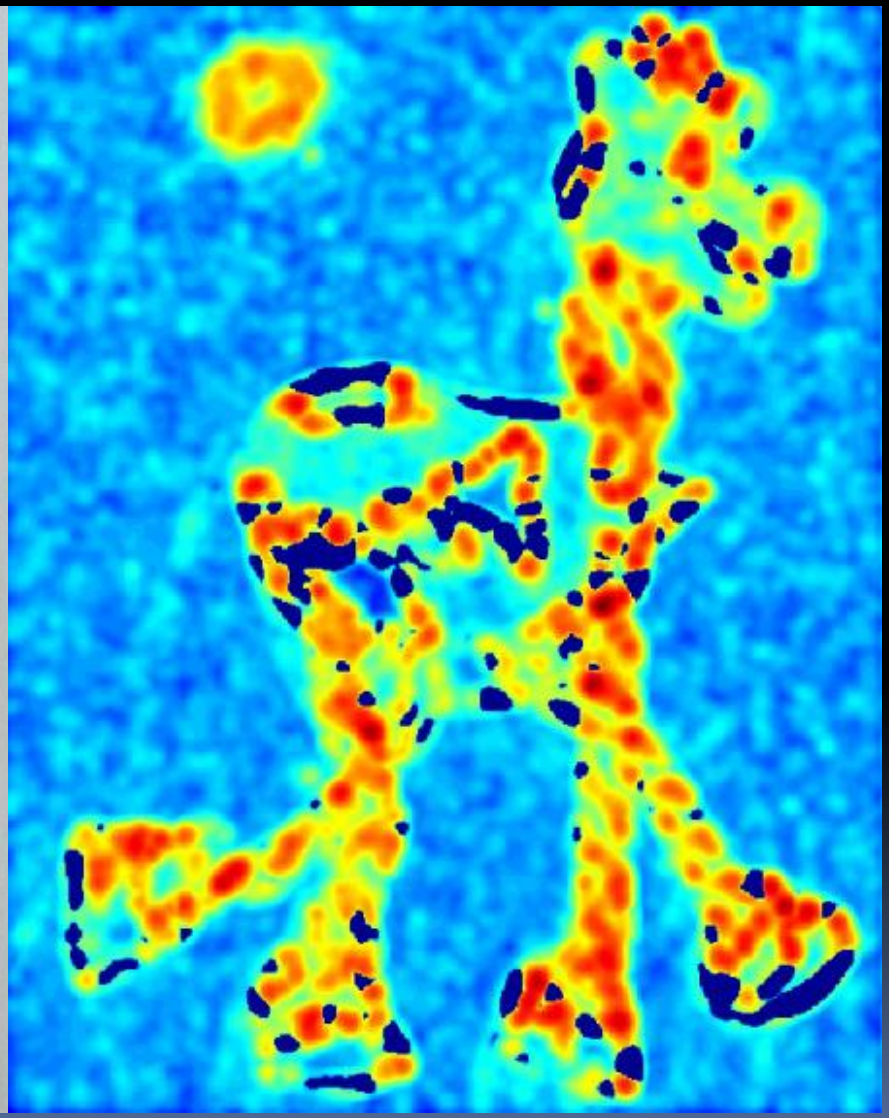
Feature points are used for:

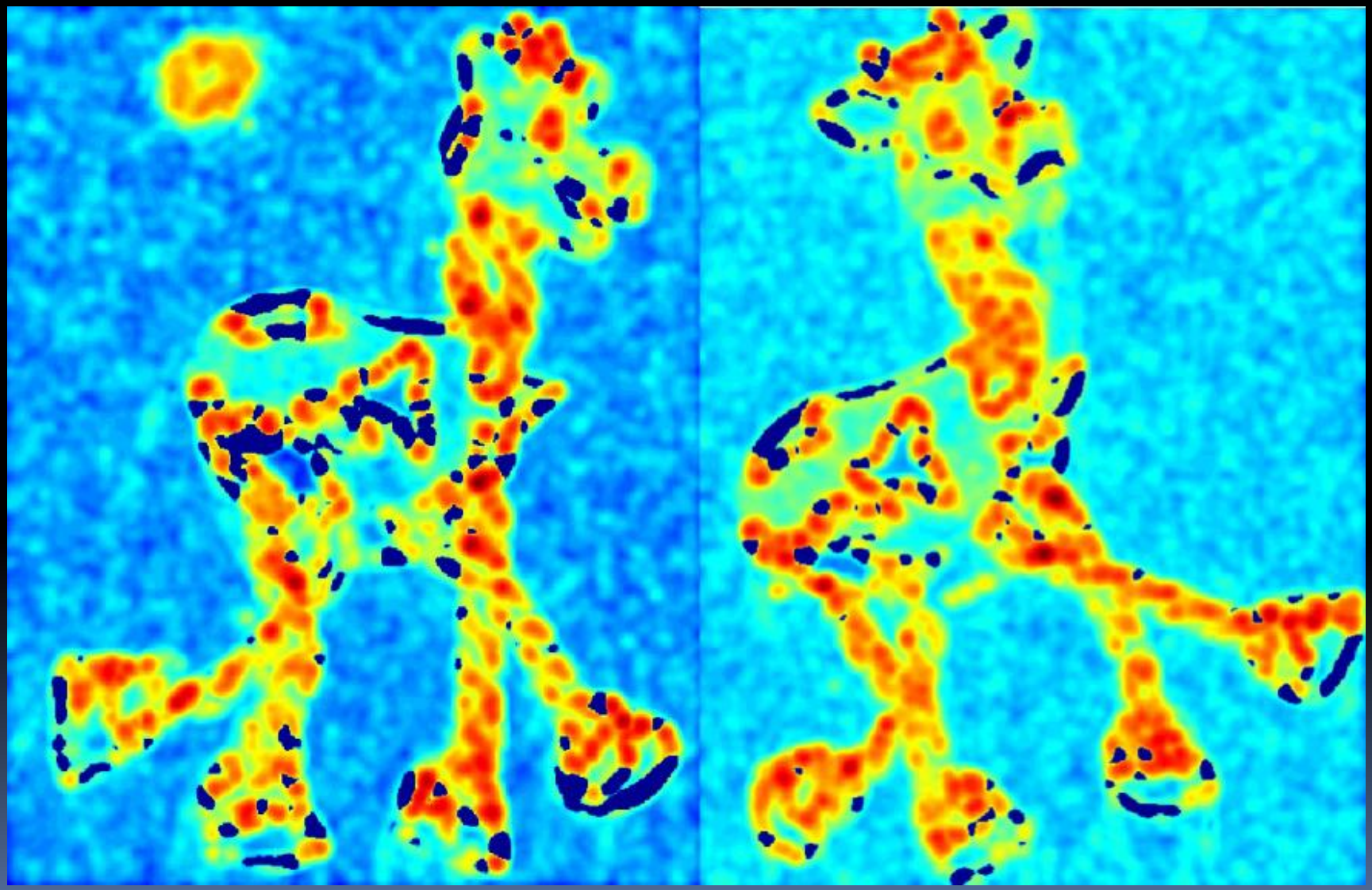
- Image alignment (e.g., mosaics) （图像拼接）
- 3D reconstruction （基于图像的三维重建）
- Motion tracking （运动跟踪）
- Object recognition （物体识别）
- Robot navigation （机器人导航）
- … other

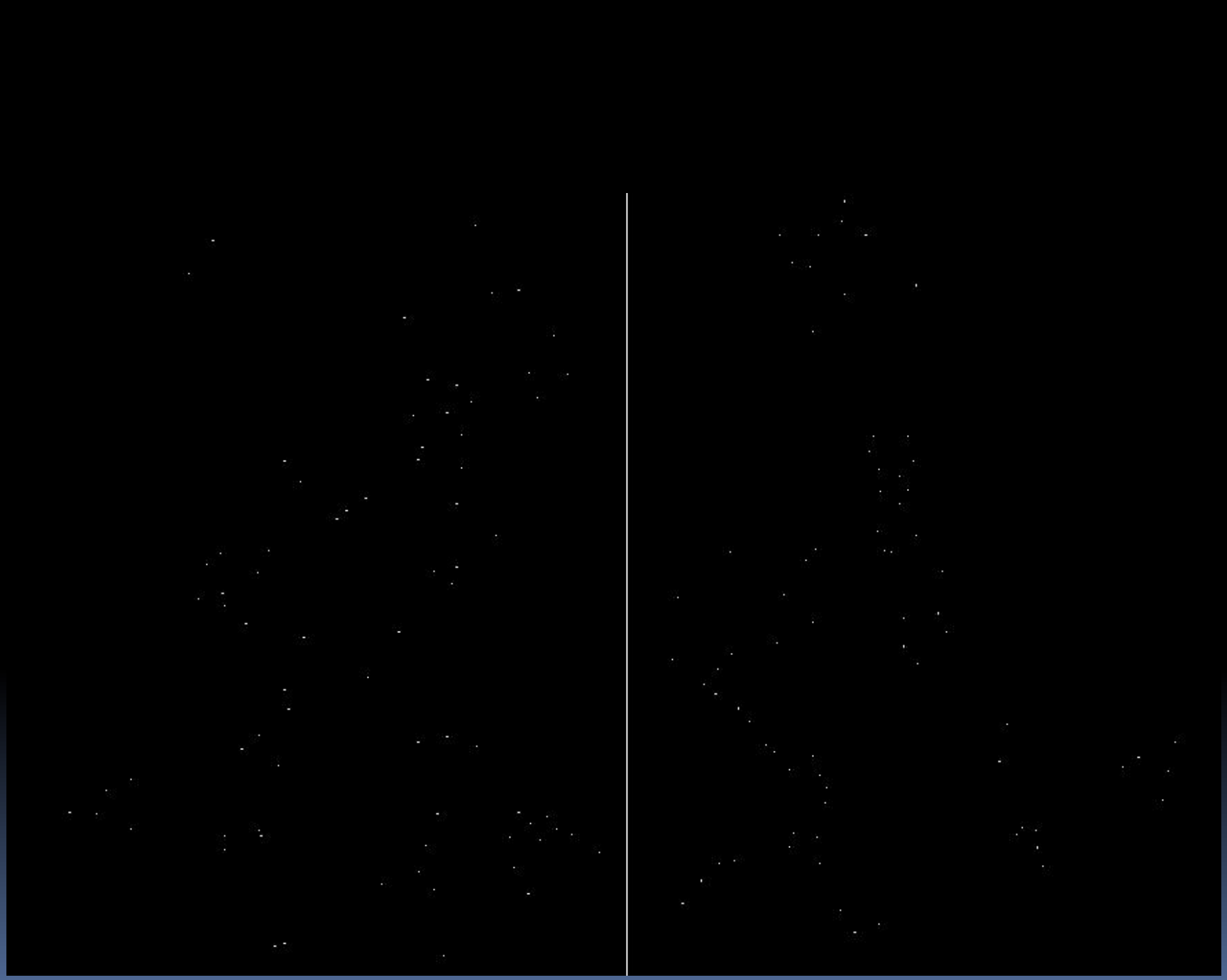
Harris角点检测

- 往任何方向移动窗口都会引起比较大的灰度变换，就是要找的角点







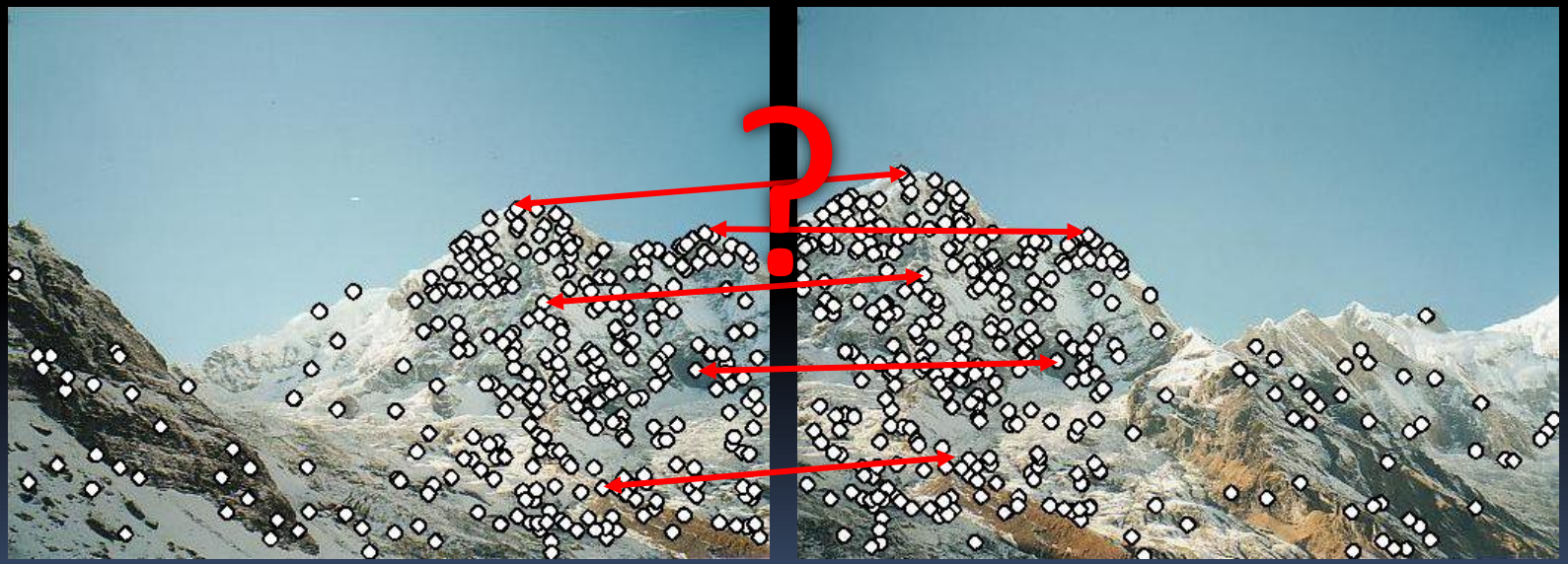
Harris features (in red)

特征检测方法

- FAST
- MSER
- SIFT
- …
- All can be found in OpenCV

Feature descriptors（特征描述）

检测到特征点的下一步: **How to match them（如何匹配）？**



Answer

- Come up with a *descriptor* for each point, find similar descriptors between the two images
- 给每个点一个描述，然后在两张图像间寻找相似的描述

描述 的要求

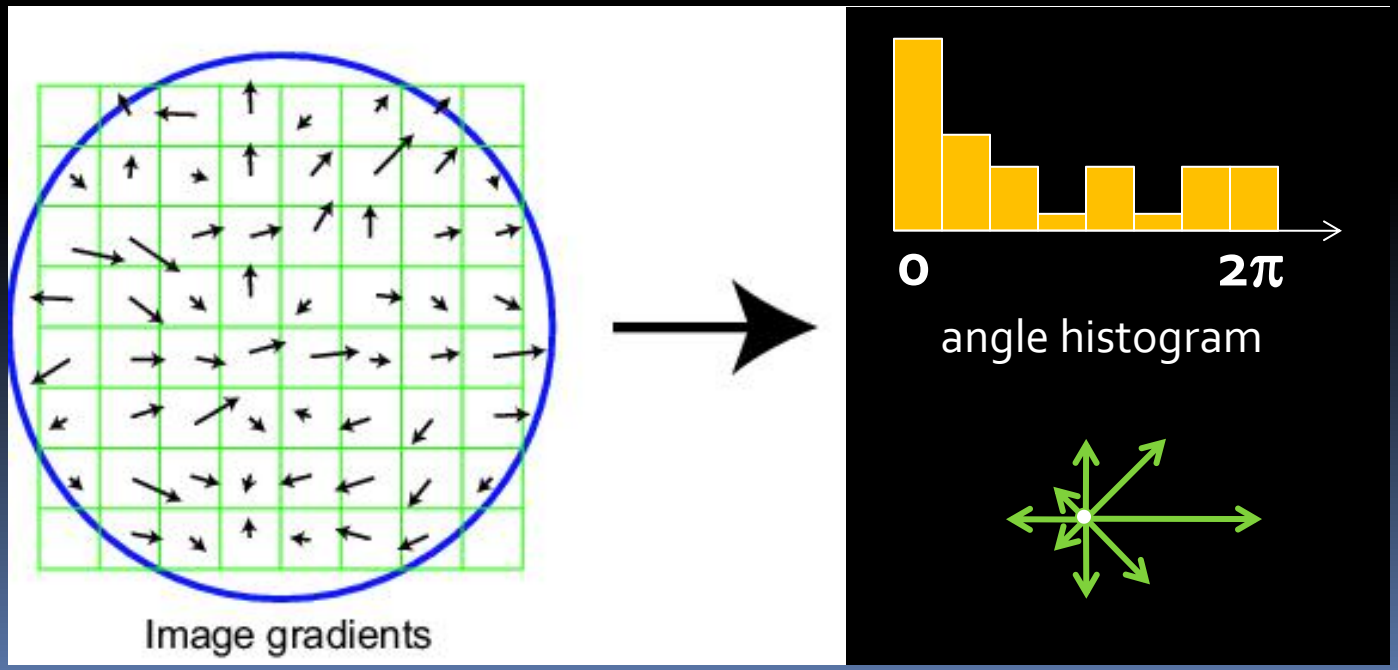
- Invariance（不变性）
  - Descriptor shouldn’t change even if image is transformed
- Discriminability （区分度）
  - Descriptor should be highly unique for each point
- 和特征点检测的要求类似

SIFT(Scale-Invariant Feature Transform)

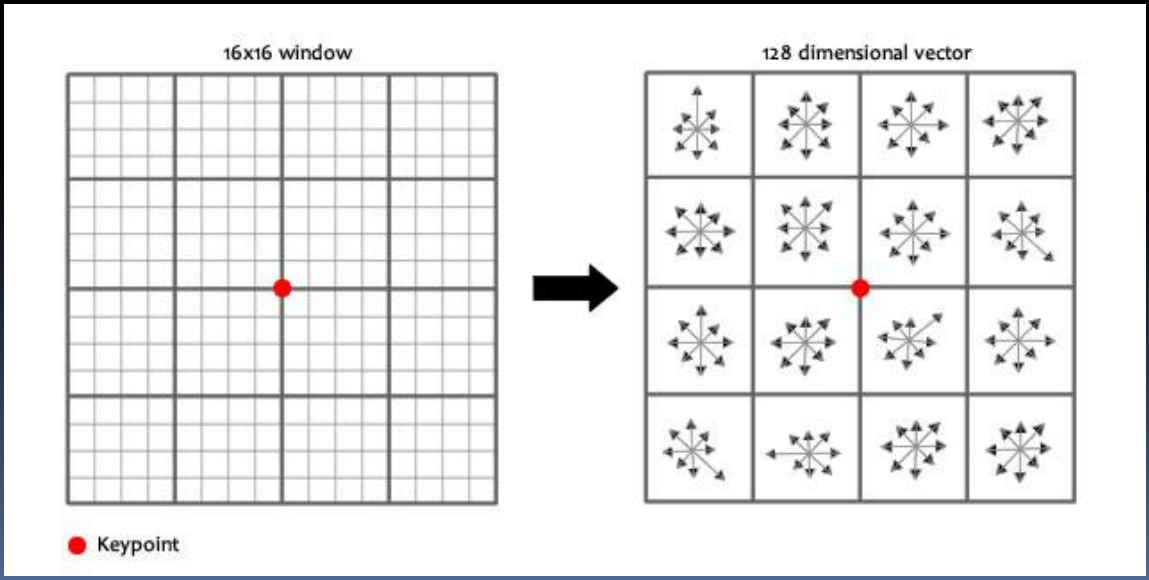
- The state-of-art method（总体而言，是目前的最优方法）
- Feature extraction & description（包含特征点检测和描述）
- Descriptor（描述内容包括周围像素的颜色梯度等信息，128维向量）

基本思路

- 特征点附近16x16窗口
- 计算每个像素的梯度方向，剔除部分较小的梯度值
- 得到梯度方向的直方图



- Divide the 16x16 window into a 4x4 grid of cells (2x2 case shown below)
- Compute an orientation histogram for each cell
- 16 cells * 8 orientations = 128 dimensional descriptor



SIFT descriptor

Extraordinarily robust（高鲁棒性） matching technique

- Can handle changes in viewpoint（能处理视点变化）
  - Up to about 60 degree out of plane rotation
- Can handle significant changes in illumination（能处理光照变化）
  - Sometimes even day vs. night (below)
- Fast and efficient—can run in real time（处理速度较快）
- Lots of code available（非常多开源实现）
  - http://people.csail.mit.edu/albert/ladypack/wiki/index.php/Known_implementations_of_SIFT

SIFT Examples

Other descriptors

- SURF
- ORB
- BRIEF
- …

- All can be found in OpenCV

Descriptor Comparison

- High Dimension Vector
  - SIFT (128 float)
  - SURF (64 float)
  - …
- Distance
  - L2-norm （欧几里德距离）
  - L1-norm （曼哈顿距离）
  - …
- Threshold（阈值） required

Descriptor Match

- 图1中，$\mathbf{R}_i = (r_{i1}, r_{i2}, \cdots, r_{i128})$
- 图2中，$\mathbf{S}_i = (s_{i1}, s_{i2}, \cdots, s_{i128})$
- Similarity = $\mathrm{sqrt}(\mathrm{sum}_{j=1,\ldots,128}(r_{ij} - s_{ij}))$
- 最近距离/次近距离 < Threshold
- Performance（性能问题）

Performance

- Timing （匹配时间）
  - Thousands of features for one image, $O(N^2)$
  - Millions of images comparison, HOW?
- Improvement （解决方法）
  - Approximate Nearest Neighbor （近似最近）
    - KD-Tree （KD树）
    - Local Sensitive Hash （局部敏感哈希）
    - The FLANN library
  - Bag of visual word（视觉词典）
  - Deep learning（深度学习）

OpenCV Implementation

- Feature Detector
- Feature Descriptor
- Feature Match
- …

SIFT等局部点特征的应用

- 三维重建
  - 基于图像（123D catch Demo Video）
  - 基于视频（SLAM Demo Video）
  - 基于视觉的定位（mapLab Demo Video）

Project

- 编程作业
  - OpenCV完成SIFT特征的提取、匹配
  - OpenCV完成全景图拼接
- 编程大作业建议
  - 在1秒时间内，完成在1000张图像集合中的搜索（北化校园导览）