

# Computer Vision

## -Introduction

# 基本概念

- **智能机器**

- 模拟人类的功能

- **感知系统**

- 人类感知外部世界主要是通过视觉、触觉、听觉和嗅觉等感觉器官
- 其中约80%的信息是由视觉获取的

- **计算机视觉(图像分析与理解)**

- 研究用计算机来模拟生物外显或宏观视觉功能的科学和技术
- 计算机视觉首要目标：用图像创建或恢复现实世界模型，然后认知现实世界

# 眼见为实，耳听为虚？

- 曾几何时，我们认为地球是方的，天空是圆的，地球是群星环绕的宇宙的中心。随着对宇宙的了解不断加深，我们知道了地球只是太阳系中的一颗行星而已，它也是圆的。突然间人类豁然开朗，**原来眼见也不一定为实。**
- 由于种种客观原因，眼睛常常欺骗我们。但是它们是怎么欺骗我们的呢？为什么它们竟能遮蔽人类那百转千回的大脑的智慧曙光呢？还认为眼睛是你最忠诚的仆人吗？还认为它们从来不会欺骗你吗？

# 所见即所得？

- 我们的眼睛也不是万能的，它也有自己的不足与缺陷。  
因为眼睛的可视光波长范围是380~780nm，只有在这个波长范围内的光线才可以穿过眼角膜，在视网膜上成像。如果超出了这个长度范围外，我们就无法看到了。

# 计算机视觉

# *computer vision*

- 计算机视觉是一门研究**如何使机器“看”**的科学，更进一步地说，就是指用摄影机和电脑代替人眼对目标进行识别、跟踪和测量等，并进一步做图形处理，用电脑处理成为更适合人眼观察或传送给仪器检测的图像。

# 计算机视觉简史

- 1960' s: 合成的虚拟世界的理解
- 1970' s: 图像理解方面的进步
- 1980' s: 几何和精度
- 1990' s: 人脸识别; 统计分析开始流行
- 2000' s: 更多的识别; 大规模标记数据集可用;  
开始视频处理

# 存在问题

- 人可通过视觉、听觉、语言与外界交换信息，而目前的计算机却要求严格按照各种程序语言来编写程序，只有这样计算机才能运行。
- 必须改变过去的那种让人来适应计算机，来死记硬背计算机的使用规则的情况，而反过来让计算机来适应人的习惯和要求，以人所习惯的方式与人进行信息交换。
- 让计算机具有视觉、听觉和说话等能力。这时计算机必须具有**逻辑推理和决策**的能力。具有上述能力的计算机就是**智能计算机**。

# 代替？模仿？——走自己的路

- 计算机视觉系统中计算机起代替人脑的作用，但并不意味着计算机必须按人类视觉的方法完成视觉信息的处理。**计算机视觉可以而且应该根据计算机系统的特点来进行视觉信息的处理。**



# 相关学科

- **图像处理与图像分析**

**研究对象**主要是**二维图像**，实现图像的转化，尤其针对像素级的操作，例如，提高图像对比度、边缘提取、去噪声和几何变换。

# 相关学科

## 模式识别

- 根据从图像中抽取的**统计特性或结构信息**，把图像分成预定的类别。例如，文字识别或指纹识别。在计算机视觉中模式识别技术经常用于对图像中的某些部分，例如分割区域，进行识别和分类。

# 相关学科

## 物理学、光学

- 计算机视觉关注的目标在于充分理解电磁波，主要是可见光与红外线部分，遇到物体表面被反射所形成的图像，而这一过程便是基于光学物理和固态物理，一些尖端的图像感知系统甚至会应用到量子力学理论，来解析影像所表示的真实世界。由此，计算机视觉同样可以被看作是物理学的拓展。

# 相关学科

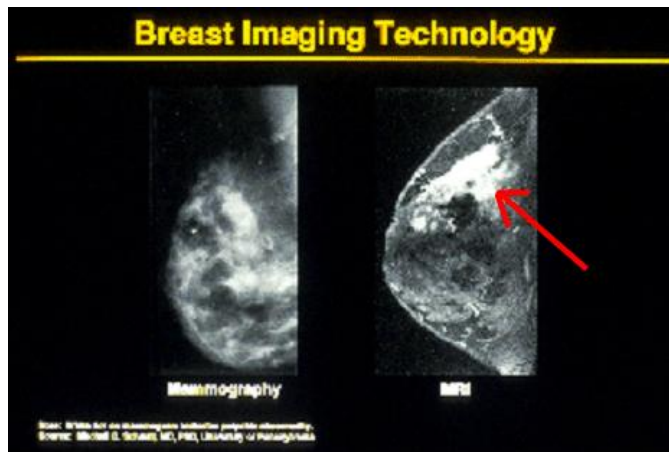
## 神经生物学（生物视觉）

- 在整个20世纪中，人类对各种动物的眼睛、神经元、以及与视觉刺激相关的脑部组织都进行了广泛研究，这些研究得出了一些有关“**天然的**”**视觉系统如何运作**的描述，这也形成了计算机视觉中的一个子领域——人们试图建立人工系统，使之**在不同的复杂程度上模拟生物的视觉运作**。同时计算机视觉领域中，一些基于机器学习的方法也有参考部分生物机制。

# 应用广泛



安全



健康



监控



家务



娱乐

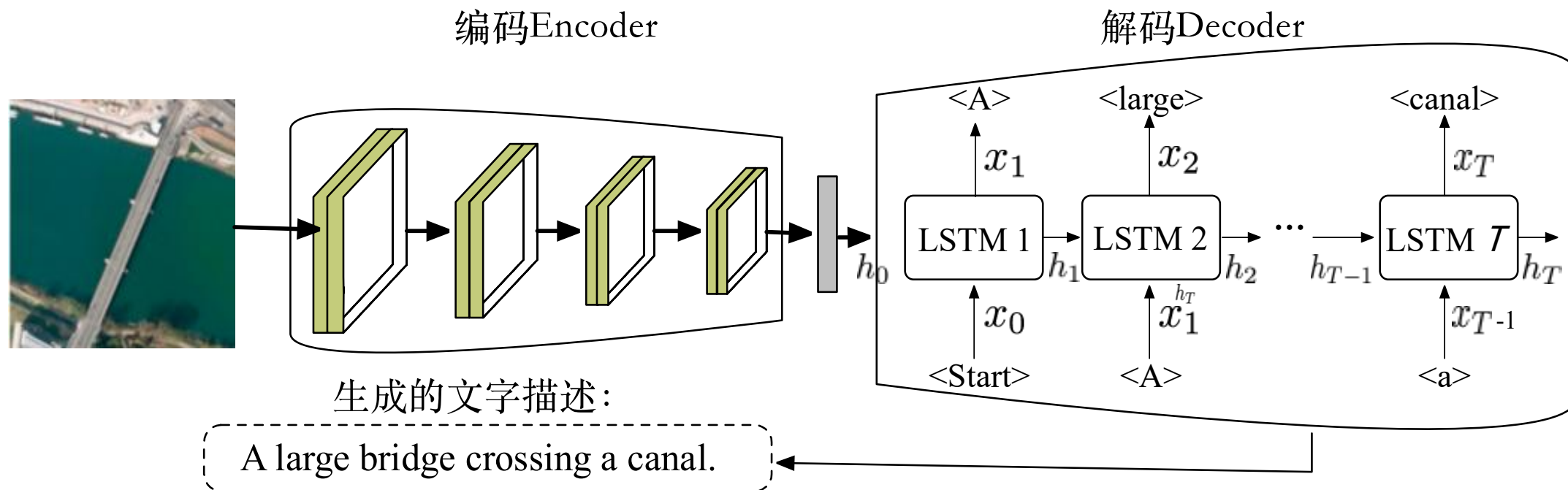


虚实空间

# 计算机视觉的应用：影像描述生成 (Image Captioning)

影像特征提取

语句生成

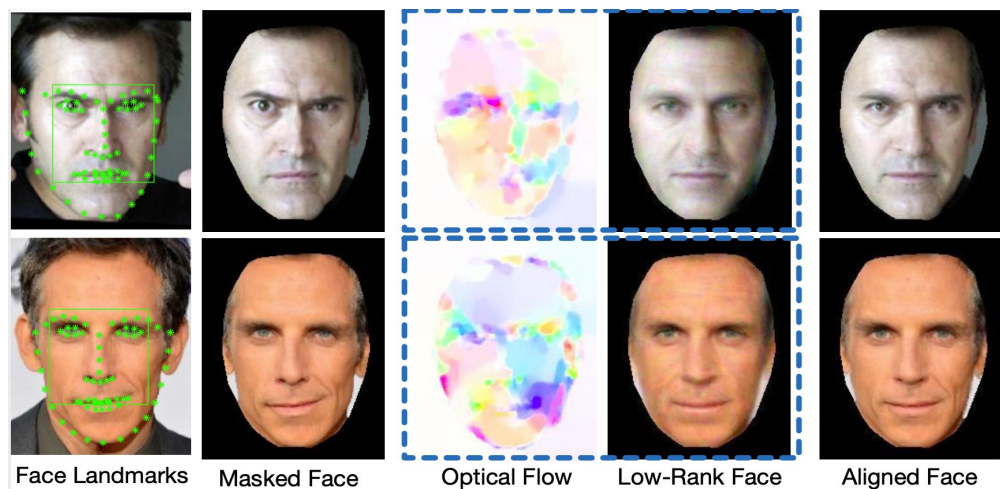


基于CNNs和RNNs的影像描述生成框架

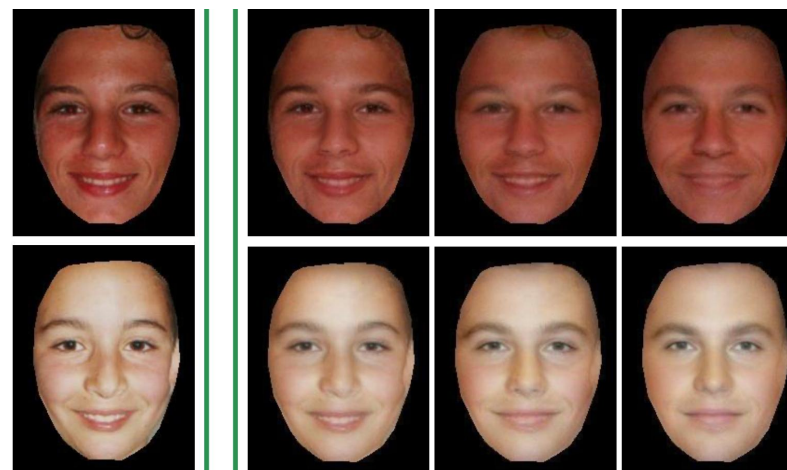


# 计算机视觉的应用：人脸检测

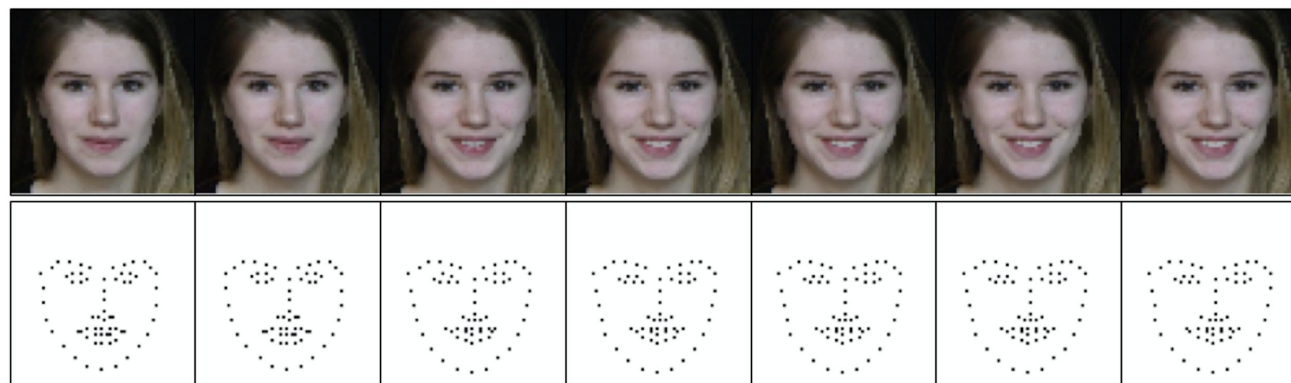
深度学习的应用->跨年龄人脸识别，计算机视觉的难点和热点



人脸角点检测



人脸老化（孩童->青年）



人脸表情合成（无表情->微笑）

# 计算机视觉的应用：物体识别（超市）



## LaneHawk by EvolutionRobotics

“A smart camera is flush-mounted in the checkout lane, continuously watching for items. When an item is detected and recognized, the cashier verifies the quantity of items that were found under the basket, and continues to close the transaction. The item can remain under the basket, and with LaneHawk, you are assured to get paid for it...”

- **主要任务：**判定一组图像数据中是否包含某个特定的物体、图像特征或运动状态。
- 到目前为止，还没有某个单一的方法能够广泛的对各种情况进行判定：
- **在任意环境中识别任意物体。**现有技术仅能够很好地解决特定目标的识别：简单几何图形识别、人脸识别、印刷或手写文件识别、车辆识别.....
- 这些识别需要在特定的环境中，具有指定的光照，背景和目标姿态要求。

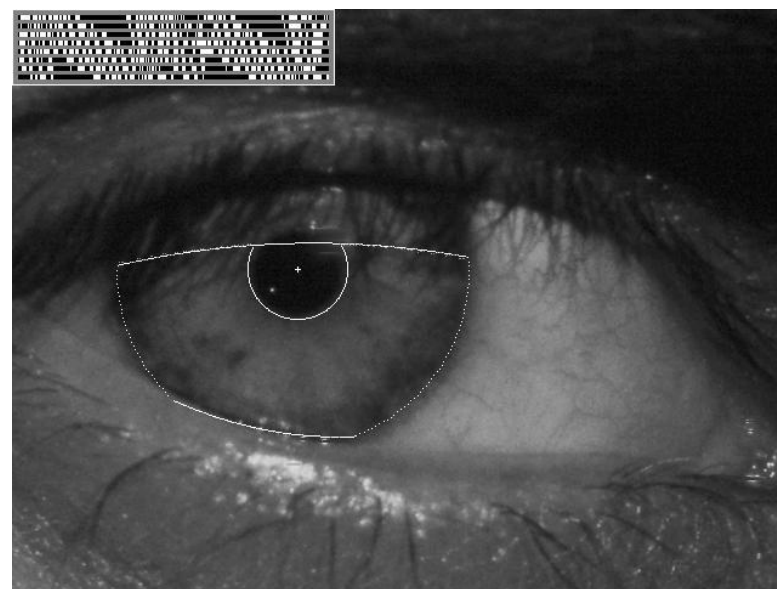
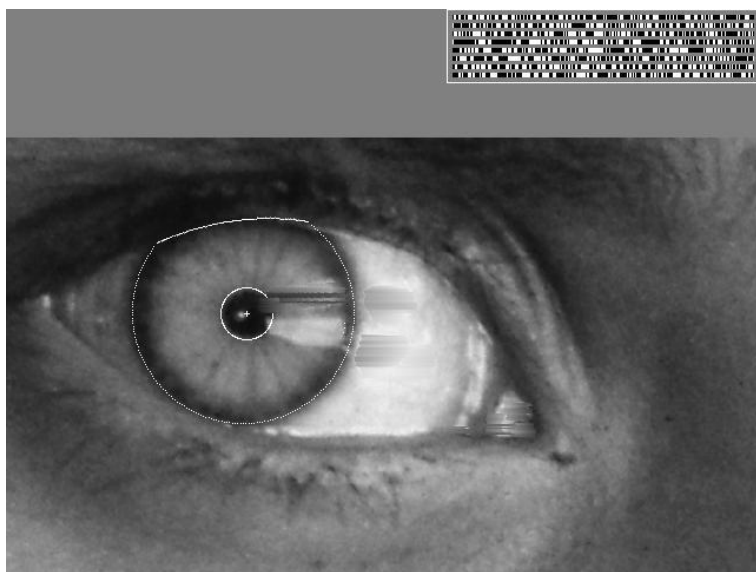


# 计算机视觉的应用：基于视觉的生物测量

12岁



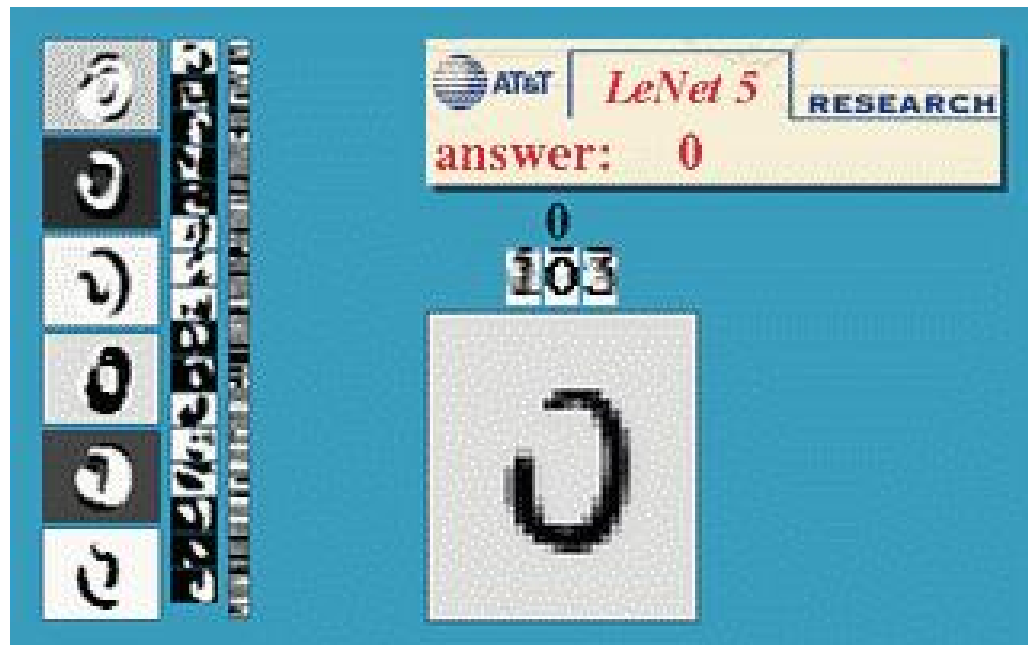
30岁



# 计算机视觉的应用：OCR

## 将扫描文档转换成文本的技术

- 若你有一台扫描仪，则它很可能带有**OCR**软件



数字识别, AT&T实验室

<http://www.research.att.com/~yann/>



车牌识别

[http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic\\_number\\_plate\\_recognition](http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_number_plate_recognition)

# 计算机视觉的应用：智能汽车



## ▶ EyeQ Vision on a Chip



> read more

## ▶ Vision Applications



Road, Vehicle, Pedestrian Protection and more

> read more

## ▶ AWS Advance Warning System



> read more

## News

- > Mobileye Advanced Technologies Power Volvo Cars World First Collision Warning With Auto Brake System
- > Volvo: New Collision Warning with Auto Brake Helps Prevent Rear-end

> all news



## Events

- > Mobileye at Equip Auto, Paris, France
- > Mobileye at SEMA, Las Vegas, NV

> read more



# 计算机视觉的应用：太空视觉



NASA的火星探索计划：2007年精神号漫游车

视觉系统的几项任务：

- 全景图缝合
- 三维地形建模
- 障碍检测，位置跟踪
- 其他 (参阅 **Matthies**等人的“[Computer Vision on Mars](#)” )

# 计算机视觉的应用：太空视觉

## Computer Vision on Mars

来自 EBSCO | ♡ 喜欢 0 | 阅读量: 105

作者: L Matthies, M Maimone, A Johnson, C Yang, R Willson, C Villalpando, S Goldberg, A Huertas, SA Angelova

摘要: Increasing the level of spacecraft autonomy is essential for broadening the reach of solar system exploration. Computer vision has and will continue to play an important role in increasing autonomy of both spacecraft and Earth-based robotic vehicles. This article addresses progress on computer vision for planetary rovers and landers and has four main parts. First, we review major milestones in the development of computer vision for robotic vehicles over the last four decades. Since research on applications for Earth and space has often been closely intertwined, the review includes elements of both. Second, we summarize the design and performance of computer vision algorithms used on Mars in the NASA/JPL Mars Exploration Rover (MER) mission, which was a major step forward in the use of computer vision in space. These algorithms did stereo vision and visual odometry for rover navigation and feature tracking for horizontal vel

收起 ▲

关键词: stereo vision - obstacle detection - visual odometry - visual velocity estimation - slip prediction - planetary exploration

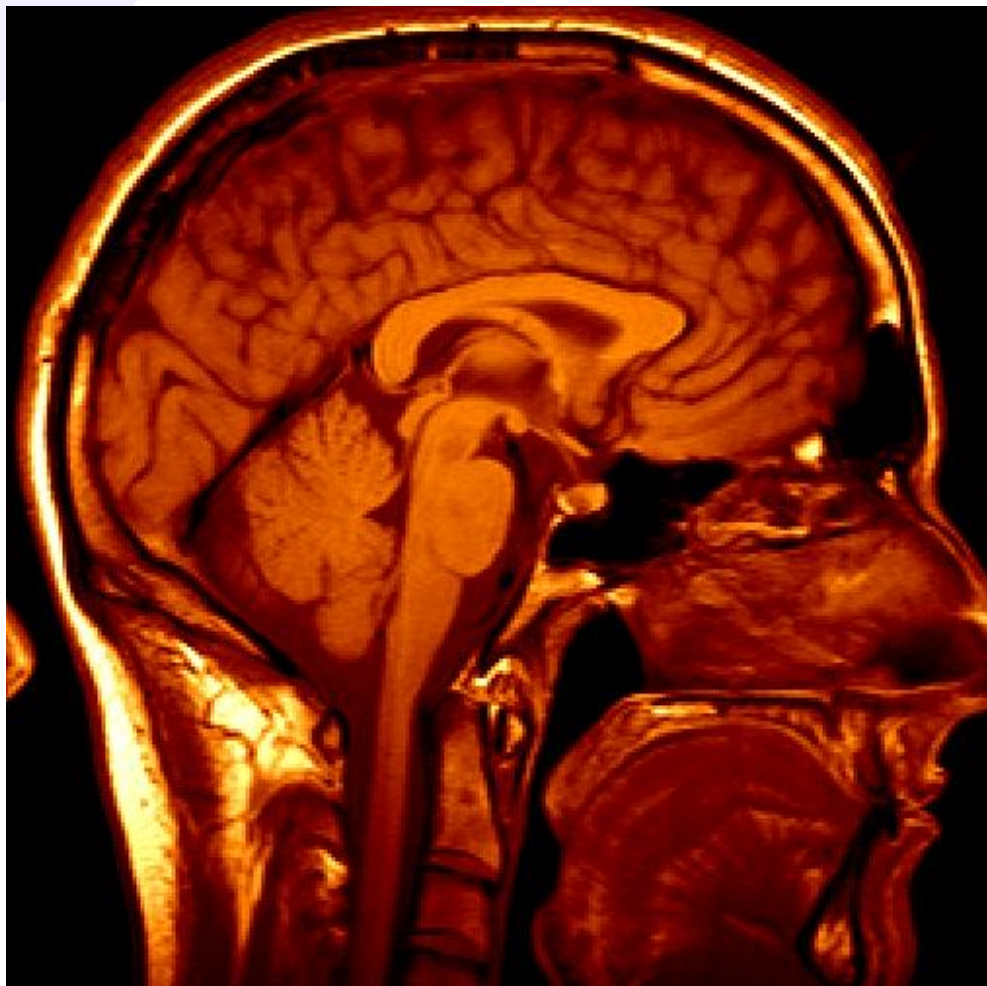
DOI: 10.1007/s11263-007-0046-z

被引量: 191

年份: 2007



# 计算机视觉的应用：医学成像



**3D核磁共振、CT**



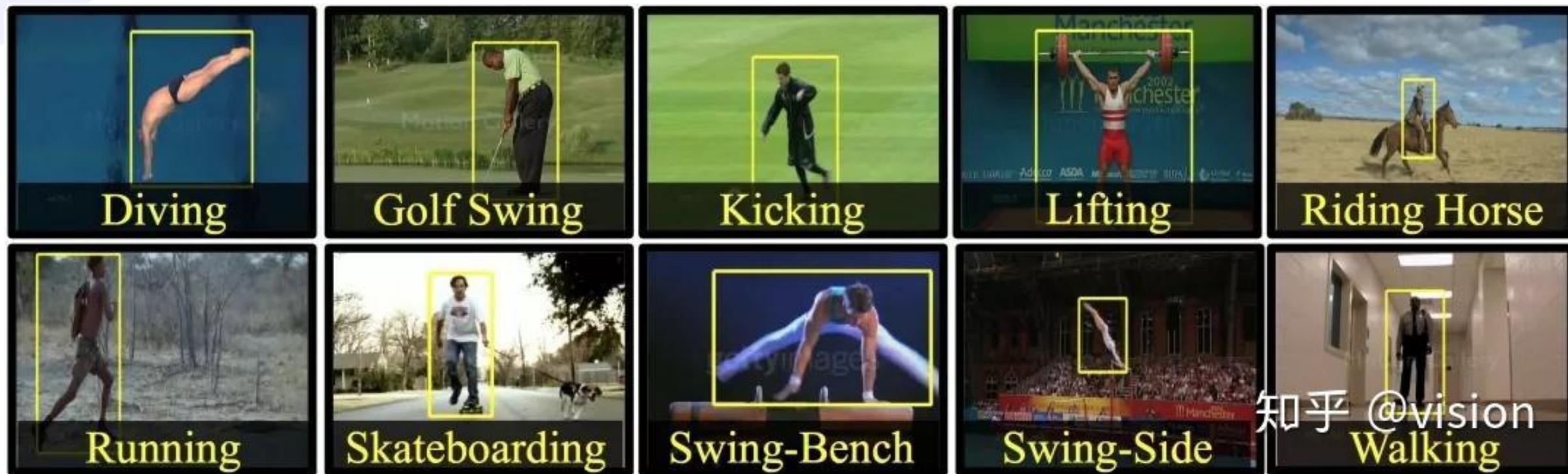
**手术导航**

# 计算机视觉的应用：图像恢复





# 计算机视觉的应用：体育赛事分析



例如，视频分类，Central Florida大学的研究人员采集了一个包含10种运动（潜水、打高尔夫球、跑步等）150个视频的数据集UCF sports。



## 主要参考资料

- **International Conference on Computer Vision**, 国际计算机视觉大会 **ICCV**: A会
- **International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition**, 国际计算机视觉与模式识别大会 **CVPR**: A会
- **International Conference on Image Processing**, 国际图像处理大会 **ICIP**: C会

## 主要参考资料

- IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE 模式分析与机器智能杂志 TPAMI
- International Journal on Computer Vision, 国际计算机视觉杂志 IJCV
- Computer Vision and Image Understanding, 计算机视觉与图像理解 CVIU—B类期刊
- Pattern Recognition Letters, 模式识别快报

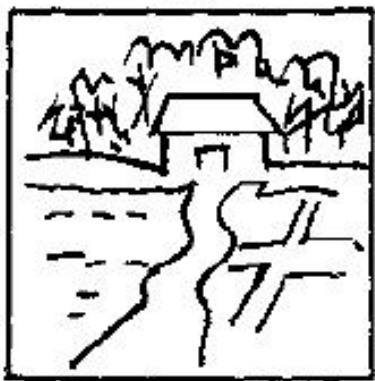
# 主要参考资料

- **马尔计算理论** (Marr 's computational theory) : 关于对象识别的计算机视觉理论, 1982年《视觉》
- **《计算机视觉》**, (美国)夏皮罗 (美国)斯托克曼著, 赵清杰 等译
- **《计算机视觉: 计算理论与算法基础》**, 马德颂、张正友著
- **《机器视觉算法与应用》**, (德)斯蒂格 (德)尤里奇 (德)威德曼著, 杨少荣等译

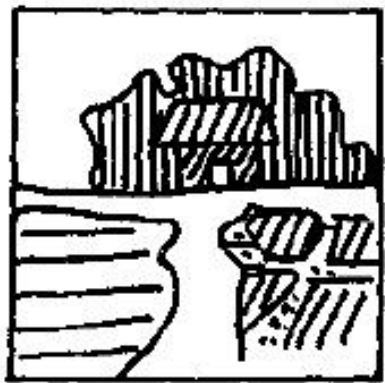
# 计算机视觉过程



(a)



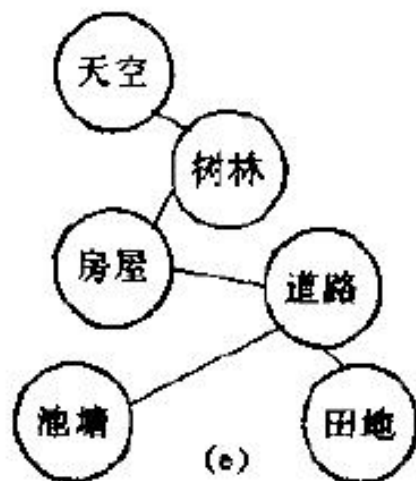
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

# 视觉的过程

## 分为三个阶段

### □特征提取和区域分割

基于**颜色**, 轮廓, 纹理, 形状...

### □建模与模式表达

基于各种物体的抽象化模型

### □描述和理解

基于景物的结构知识

低层处理

→ 中层处理

高层处理

少

知识

多

# 传统计算机视觉

## 1. 基本概念和原理

- 通路、距离
- 仿射变换
- 直方图、直方图均衡化
- 颜色空间：RGB、HSI、HSV、伪彩色图像

## 2. 滤波

- 基本操作：协相关correlation、卷积convolution
- 空间滤波
- 频域滤波

## 3. 特征提取

- 颜色
- 纹理
- 形状（基元检测：角点、边缘）

HoG、LBP、Harr、SIFT、SURF

## 4. 立体视觉

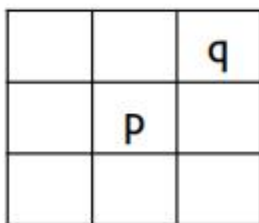
## 5. 光流场

## 6. 工程实践：环境+任务

# 像素间通路

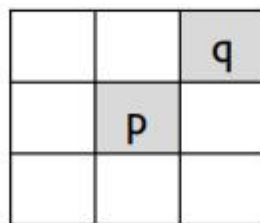
## 邻接

对两个像素 $p$ 和 $q$ 来说, 如果 $q$ 在 $p$ 的邻域中, 则称 $p$ 和 $q$ 满足邻接关系



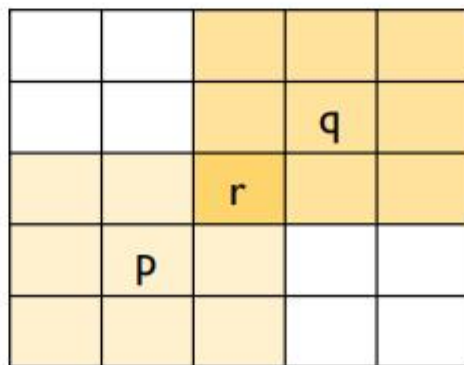
## 连接

$p$ 和 $q$ 邻接且灰度值均满足某个特定的相似准则



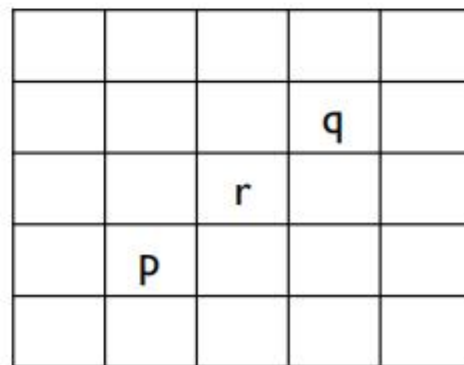
## 连通

不(直接)邻接, 但均在另一个像素的相同邻域中, 且这3个像素的灰度值均满足某个特定的相似准则



## 通路

两个像素 $p$ 和 $q$ 间有一系列依次连接的像素使得 $p$ 和 $q$ 是连通的, 则这些像素构成 $p$ 和 $q$ 间的通路



# 像素间距离

## 1. 曼哈顿距离(city-block-distance)

当  $p = 1$  时，即为曼哈顿距离或城市距离、街区距离，是指两个向量之间的距离，在计算距离时不涉及对角线移动。像素  $p(x,y)$  和  $q(s,t)$  之间的距离公式：

$$D_4(p, q) = |x - s| + |y - t|$$

表示从像素  $p$  向像素  $q$  出发，每次能走的点必须是在当前像素点的 4 邻域中。一步一步走到  $q$  点后，一共经过的像素点数就是曼哈顿距离。 **(D4距离)**

## 2. 欧式距离 (Euclidian distance)

当  $p = 2$  时，即为欧式距离，就是直角坐标系的距离。像素  $p(x,y)$  和  $q(s,t)$  之间的距离公式：

$$D_e(p, q) = \sqrt{(x - s)^2 + (y - t)^2}$$

## 3. 切比雪夫距离 (chess-board-distance)

当  $p = \infty$  时，即为切比雪夫距离或棋盘距离，像素  $p(x,y)$  和  $q(s,t)$  之间的距离公式：

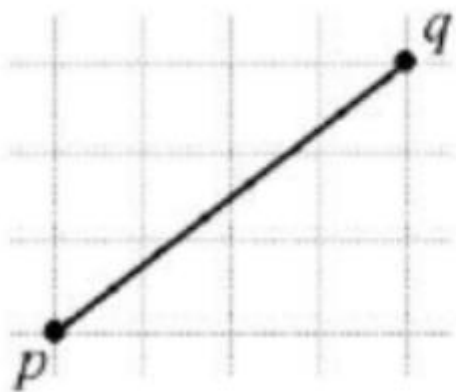
$$D_8(x, y) = \max(|x - s|, |y - t|)$$

表示从像素  $p$  向像素  $q$  出发，每次能走的点必须是在当前像素点的 8 邻域中。一步一步走到  $q$  点后，一共经过的像素点数就是切比雪夫距离。 **(D8距离)**



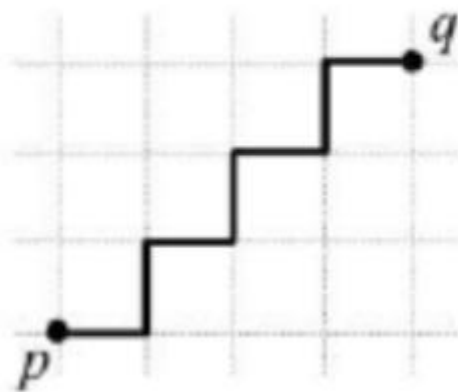
# 像素间距离

欧氏距离



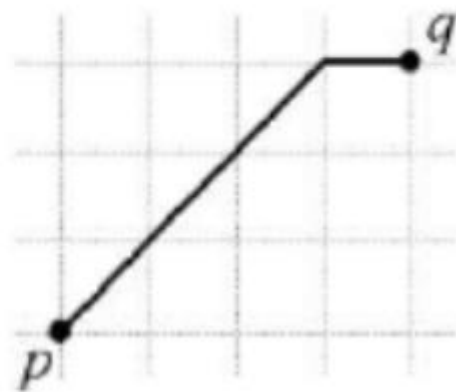
(a)

城区距离



(b)

棋盘距离



(c)

# 像素间距离

对于像素  $p(x,y)$ 、 $q(s,t)$  和  $z(u,v)$ ，如果满足：

- 非负性：  $D(p,q) \geq 0$
- 同一性：  $D(p,q)=0$ ，当且仅当  $p=q$  时
- 对称性：  $D(p,q) = D(q,p)$
- 直递性：  $D(p,z) \leq D(p,q) + D(q,z)$

则称  $D$  是距离的度量函数。

(Minkowski Distance)

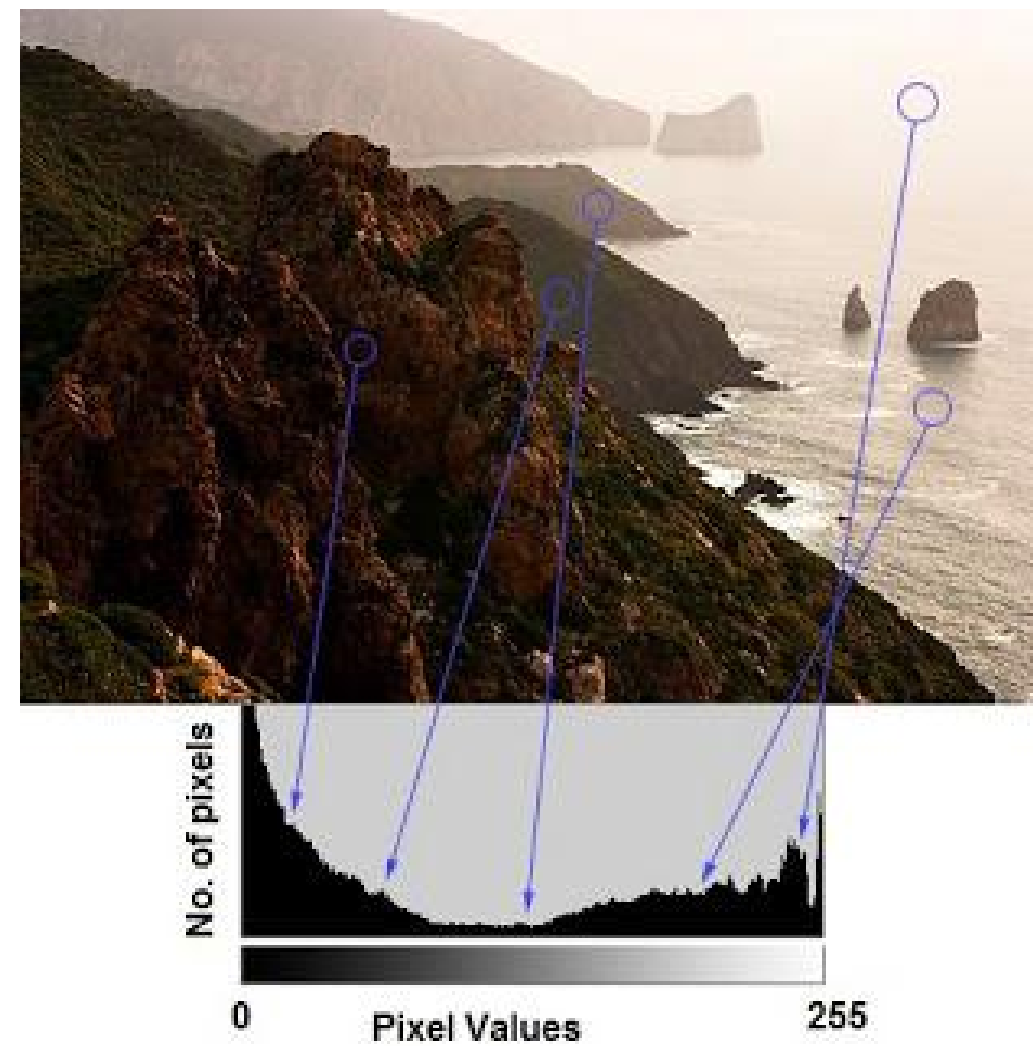
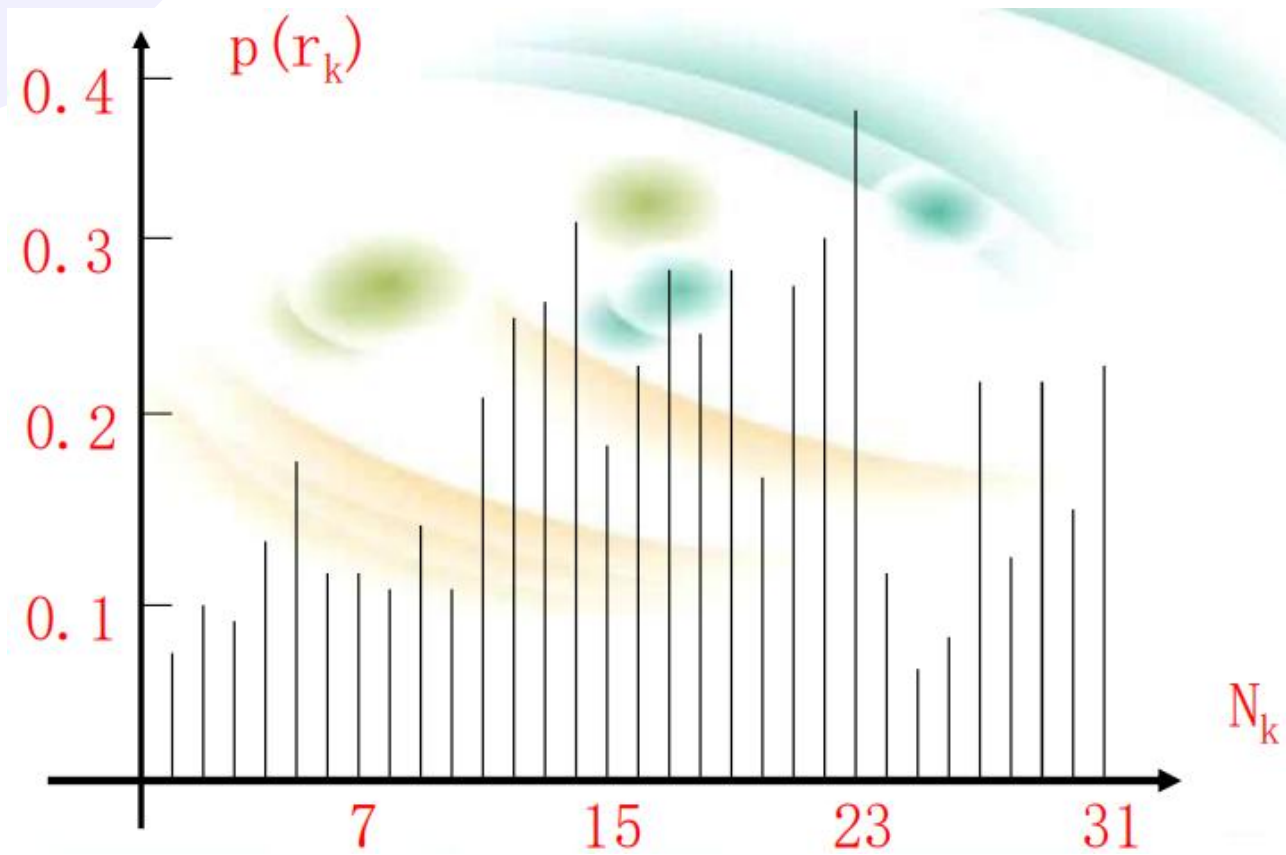
在欧几里得空间中，点  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  和点  $(y_1, y_2, \dots, y_n)$  之间的闵可夫斯基距离：

$$D(x, y) = \left( \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p \right)^{1/p}$$

# 图像直方图

图像直方图是图像像素强度分布的图形表示，对于灰度图像，直方图显示了每个灰度级（0 到 255）在图像中出现的频率，对于彩色图像，我们可以分别计算每个通道（如 R、G、B）的直方图。

- 直方图：表示图像中像素强度的分布情况。
  - 横坐标 (X轴)：通常表示像素的强度值（例如，对于 8 位灰度图，就是 0 到 255）。
  - 纵坐标 (Y轴)：表示具有该强度值的像素数量。
  - 灰度直方图：针对灰度图像的直方图，表示每个灰度级的像素数量。
  - 颜色直方图：针对彩色图像的直方图，分别表示每个颜色通道（如 BGR）的像素强度分布。
- 简单来说，直方图是一个统计图表，它显示了图像中每个像素强度值（比如亮度值0-255）出现的频率（即像素个数）。

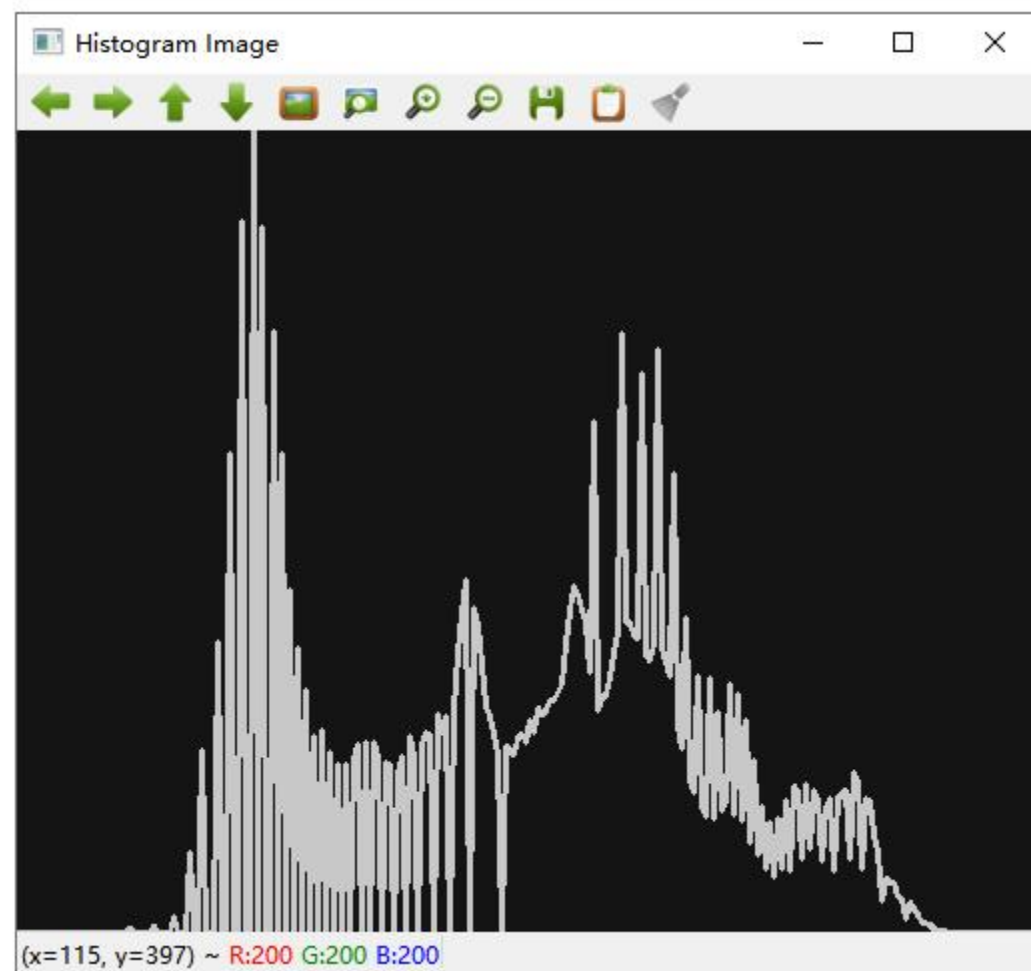
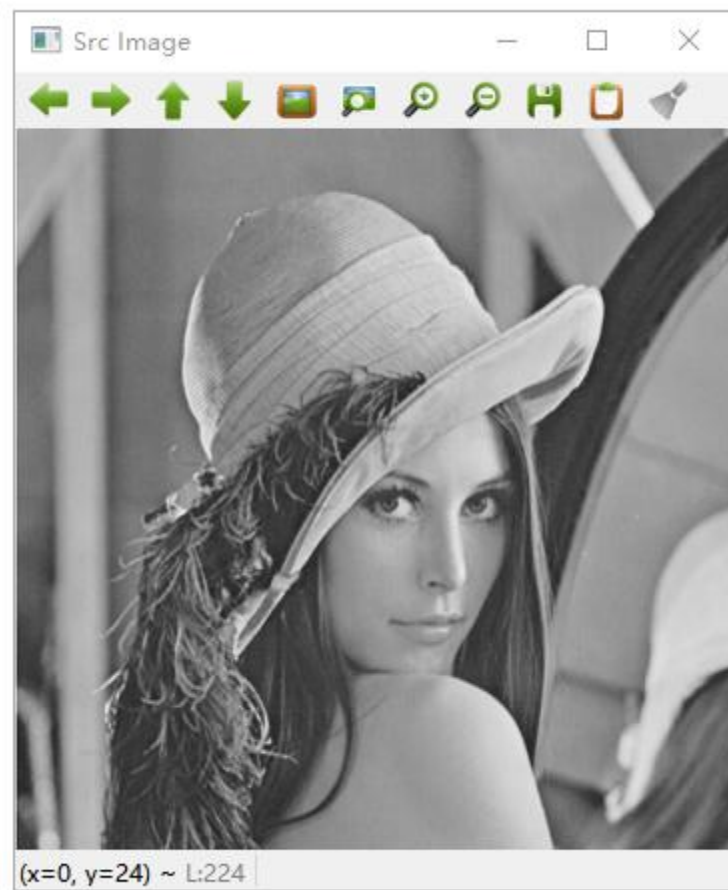


# 直方图有什么用？

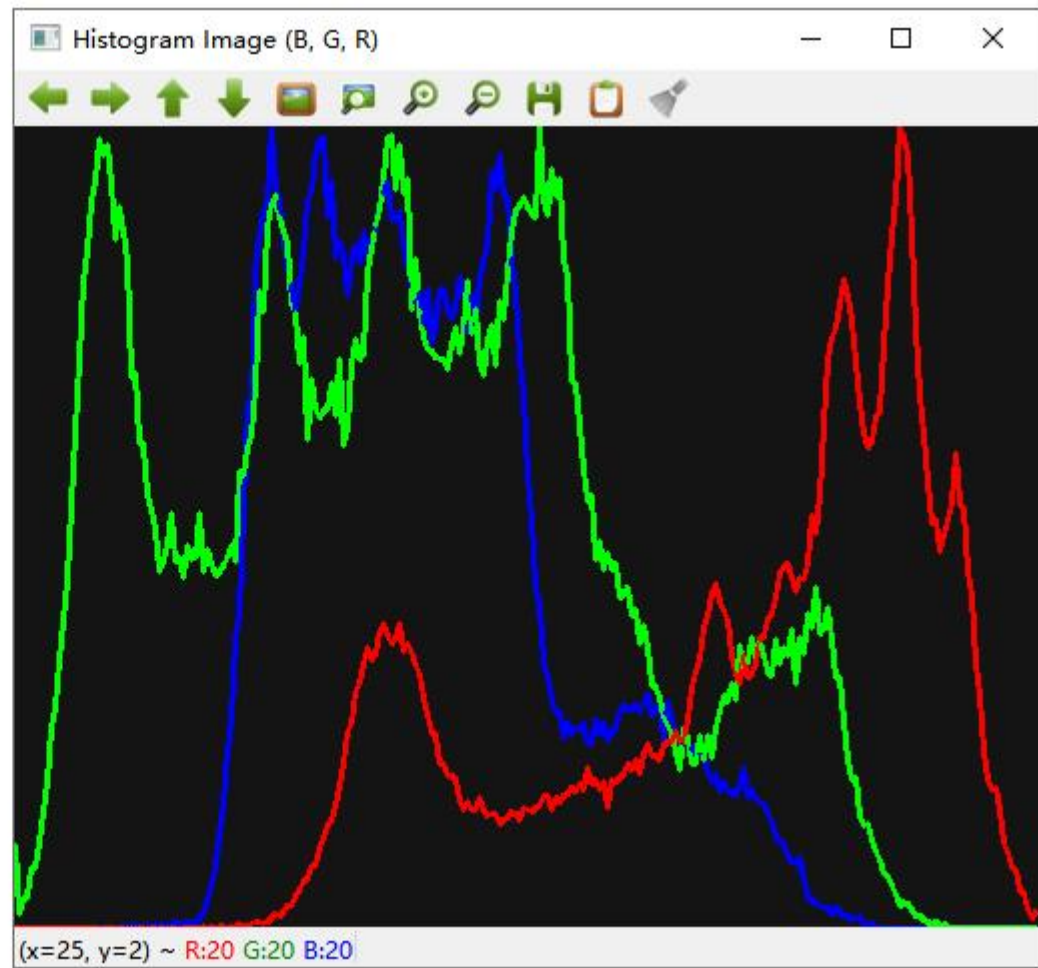
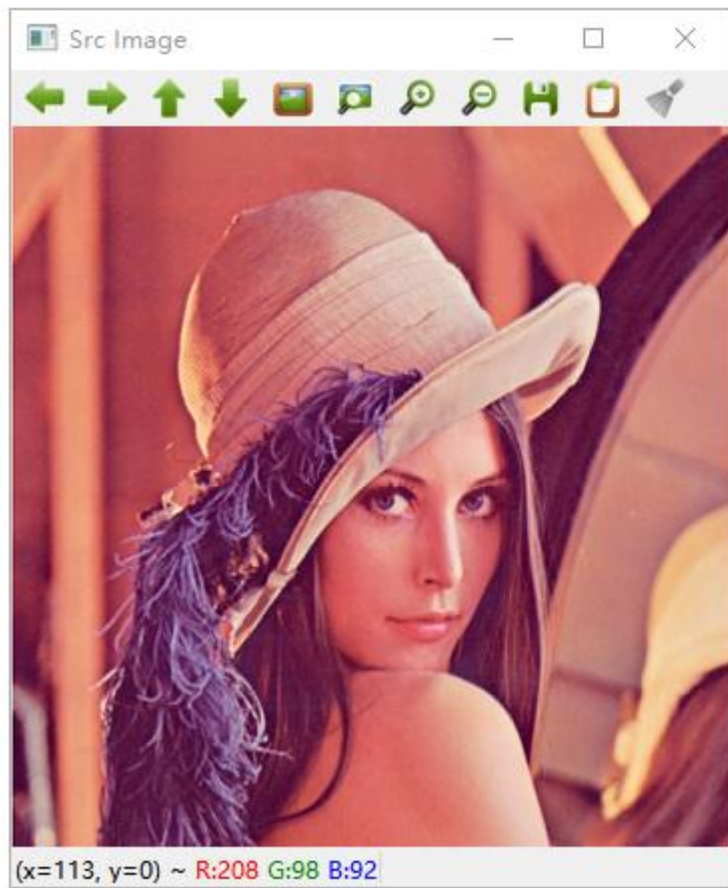
- **图像亮度与对比度：**
  - 如果直方图的峰值主要集中在左边（低亮度值）， **说明图像偏暗。**
  - 如果峰值集中在右边（高亮度值）， **说明图像偏亮。**
  - 如果峰值分布很窄， **说明图像对比度较低。**
  - 如果峰值分布很广， **说明图像对比度较高。**
- **图像内容分析：**通过直方图的形状，可以大致推断图像的内容。例如，一张大部分是天空的图片，其直方图的蓝色通道可能会在某个区域有高峰。
- **图像阈值化：**选择合适的阈值，用于将图像分割成前景和背景。
- **图像均衡化：**通过拉伸直方图，使其分布更均匀，可以增强图像的对比度。
- **图像匹配与检索：**比较不同图像的直方图，可以作为一种简单的图像相似性度量方法。

# OpenCV 提供了丰富的直方图计算和操作函数：

功能	函数	说明
计算直方图	<code>cv::calcHist()</code>	计算图像的直方图。
直方图均衡化	<code>cv::equalizeHist()</code>	增强图像的对比度。
直方图比较	<code>cv::compareHist()</code>	比较两个直方图的相似度。
绘制直方图	<code>matplotlib.pyplot.plot()</code>	使用 Matplotlib 绘制直方图。



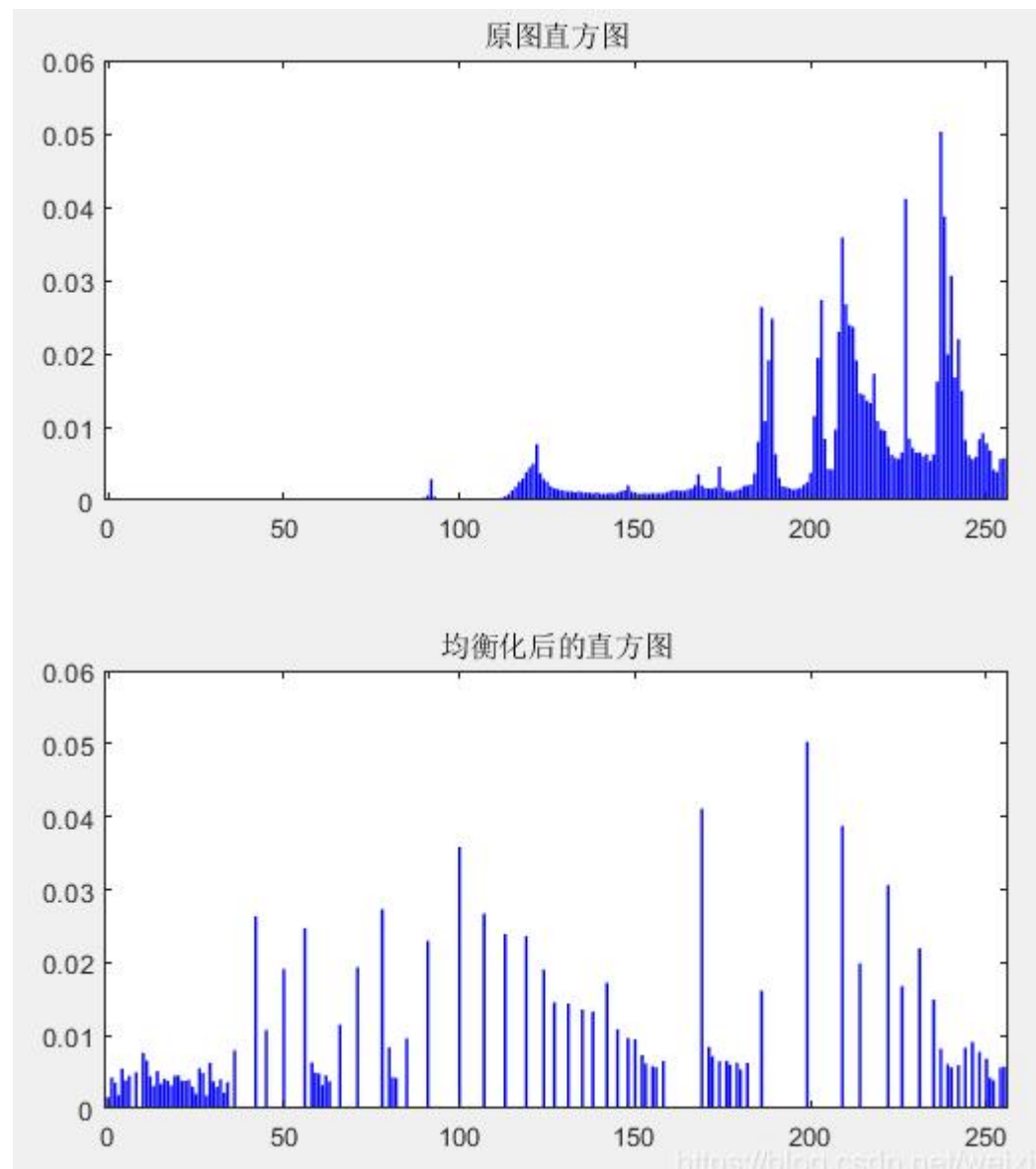


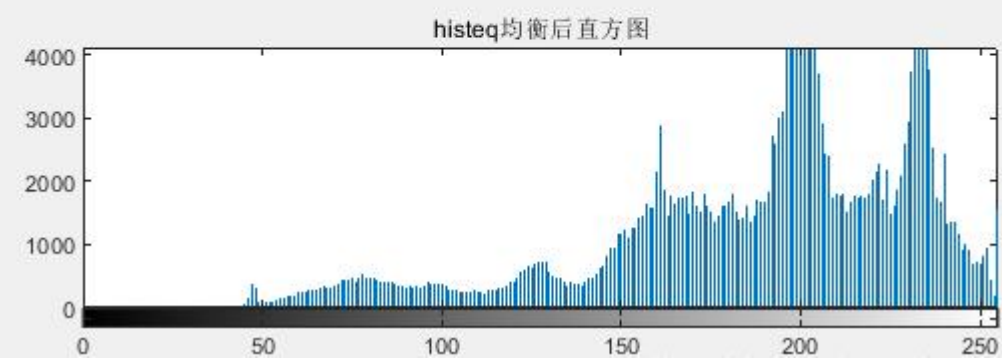
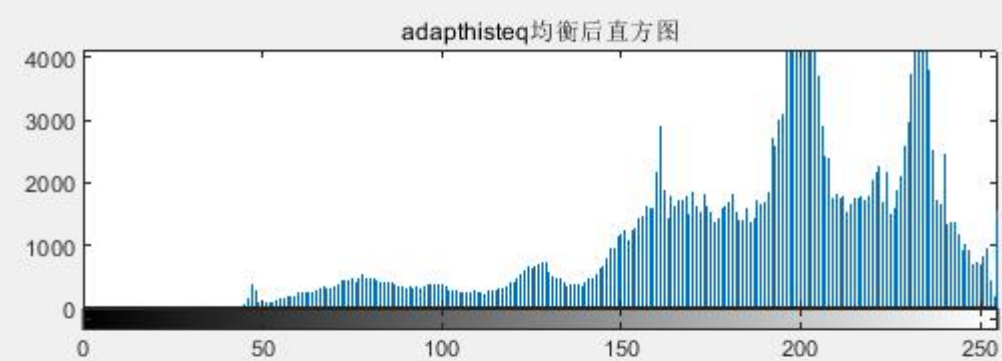
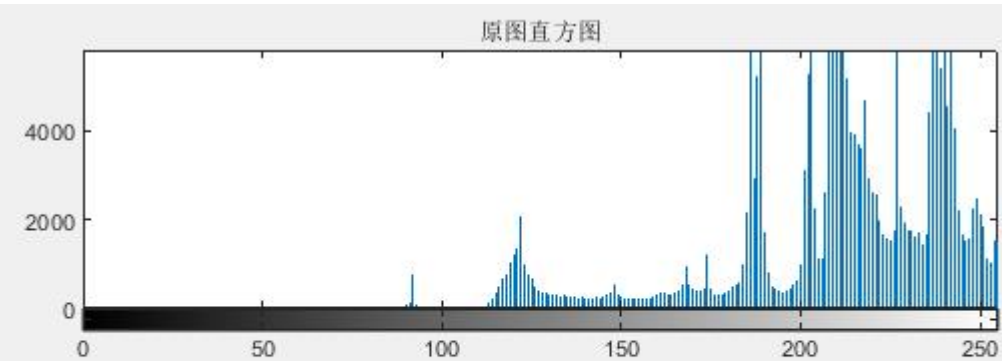




# 直方图均衡化

- 通常认为，图像统计直方图分布越均匀，图像的质量越好，直方图均衡化可以提升图像的对比度和质量。例如，若图像整体较暗，说明直方图中低像素值分布较多，高像素值分布较少，这时可以使用直方图均衡化来平衡其直方图分布，即减少低像素值，增加高像素值。从直观上看，均衡化的效果就是图像的部分区域相对原来变亮了，所以提升了图像的对比度。





- **直方图均衡化：**是一个所有**像素值重映射**的过程。例如，像素值 $x$ 的直方图均衡化之后的值可按下式计算，

$$H(x) = (2^n - 1) * P(x)$$

其中， $n$  为图像的每一个像素点的位宽，对于灰度图通常  $n=8$ ， $P(x)$  为像素值  $x$  的累加概率。

- $P(x)$ 的取值范围是0~1,  $H(x)$ 与 $P(x)$ 具有线性关系。
- 为了进一步提升图像对比度, 可以对 $P(x)$ 作一个**非线性的 S 型变换** $T(P(x))$ , 并保证变换之后 $T(P(x))$ 的取值范围还在0~1之间。
- 例如, 可**构造** $T_1$ 和 $T_2$ **这两个非线性函数用于非线性变换**, 同时可以把原本 $H(x)$ 与 $P(x)$ 的线性关系看成函数 $T_0$ , 于是有以下三种变换:

$$T_0(x) = x$$

$$T_1(x) = 0.5 * (\sin(\pi x - \pi / 2) + 1)$$

$$T_2(x) = \frac{1}{1 + e^{3-x*6}}$$



T0



T1



T2

# 卷积与滤波

图像处理的方法基本上可分为空间域法和频域法两大类。

## (1) 空域法:

在原图像上直接进行数据运算，对像素的灰度值进行处理。

- **点运算**：对图像作逐点运算；
- **局部运算**：在与处理像点邻域有关的空间域上进行运算。

## (2) 频域法:

在图像的变换域上进行处理，增强感兴趣的频率分量，然后进行反变换，得到频域处理过的图像。




# 空域滤波及滤波器的定义：

- 使用**空域模板**进行的图像处理，被称为**空域滤波（局部运算）**。模板本身被称为**空域滤波器**。
- 空间域滤波：卷积与模板
  - **模板操作**是数字图像处理中常用的一种运算方式，图像的平滑、锐化、细化、边缘检测等都要用到模板操作。
  - 例如，一种常见的平滑算法是将原图中的一个像素的灰度值和它周围邻近8个像素的灰度值相加，然后将求得的平均值作为新图像中该像素的灰度值。可用如下方法来表示该操作：

$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1^* & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

- 上式类似于矩阵，通常称之为**模板 (Template)**，带星号的数据表示该元素为**中心元素**，即这个元素是将要处理的元素。

- 如果模板为： 
- 则该操作的含义是：将原图中一个像素的灰度值和它右下相邻近的8个像素值相加，然后将求得的平均值作为新图像中该像素的灰度值。

$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1^* & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

- 模板操作**实现了一种**邻域运算**，即某个像素点的结果不仅和本像素灰度有关，而且和其邻域点的值有关。**模板运算的数学含义是卷积 (或互相关) 运算。**

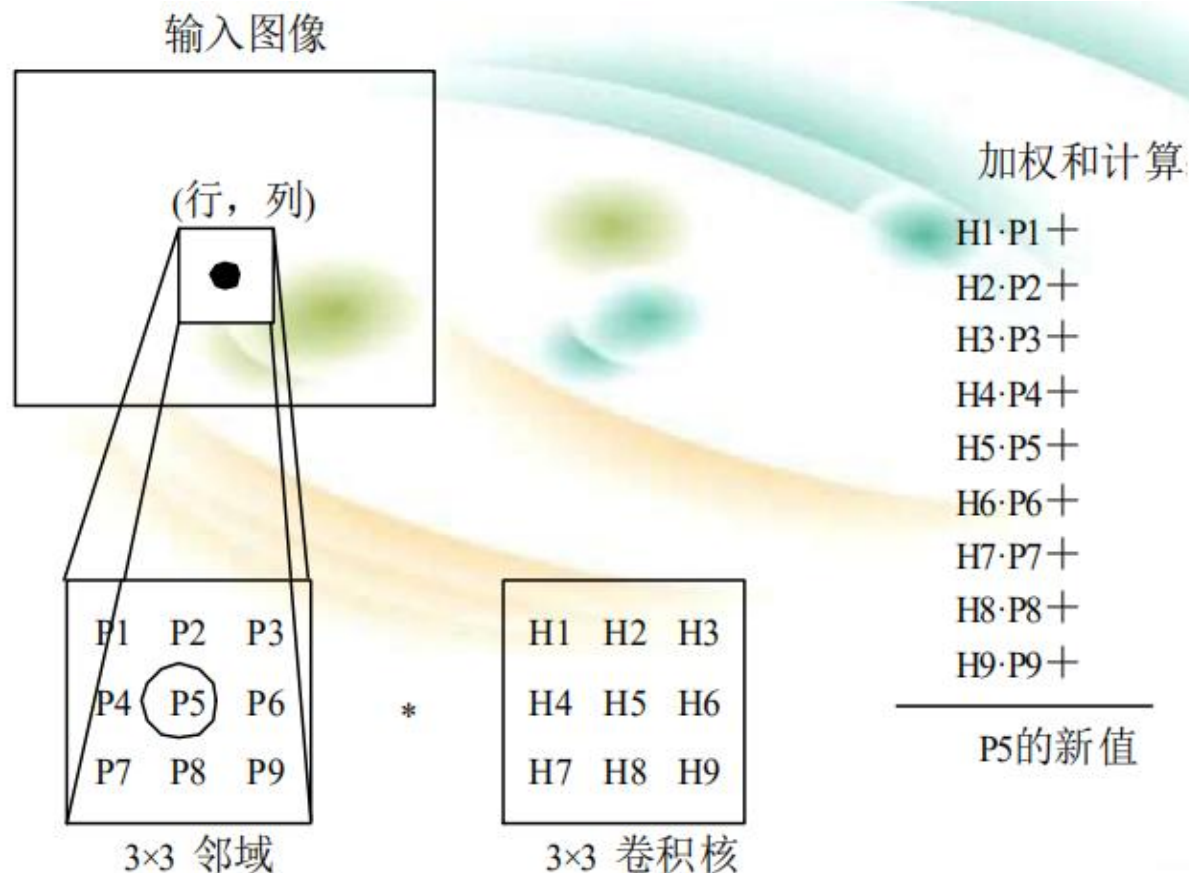


# 卷积与滤波

卷积是一种用途很广的算法，可用卷积来完成各种空域的图像处理：

卷积运算中的**卷积核**就是模板运算中的**模板**：

- **卷积**就是作**加权求和**的过程。邻域中的每个像素（假定邻域为 $3 \times 3$ 大小，卷积核大小与邻域相同），分别与卷积核中的每一个元素相乘，**乘积求和所得结果即为中心像素的新值**。
- **卷积核中的元素**称作**加权系数**（卷积系数），卷积核中的系数大小及排列顺序，决定了对图像进行处理类型。改变卷积核中的加权系数，会影响到总和的数值与符号，从而影响到所求像素的新值。
- **卷积核 = 模板 = 空域滤波器**



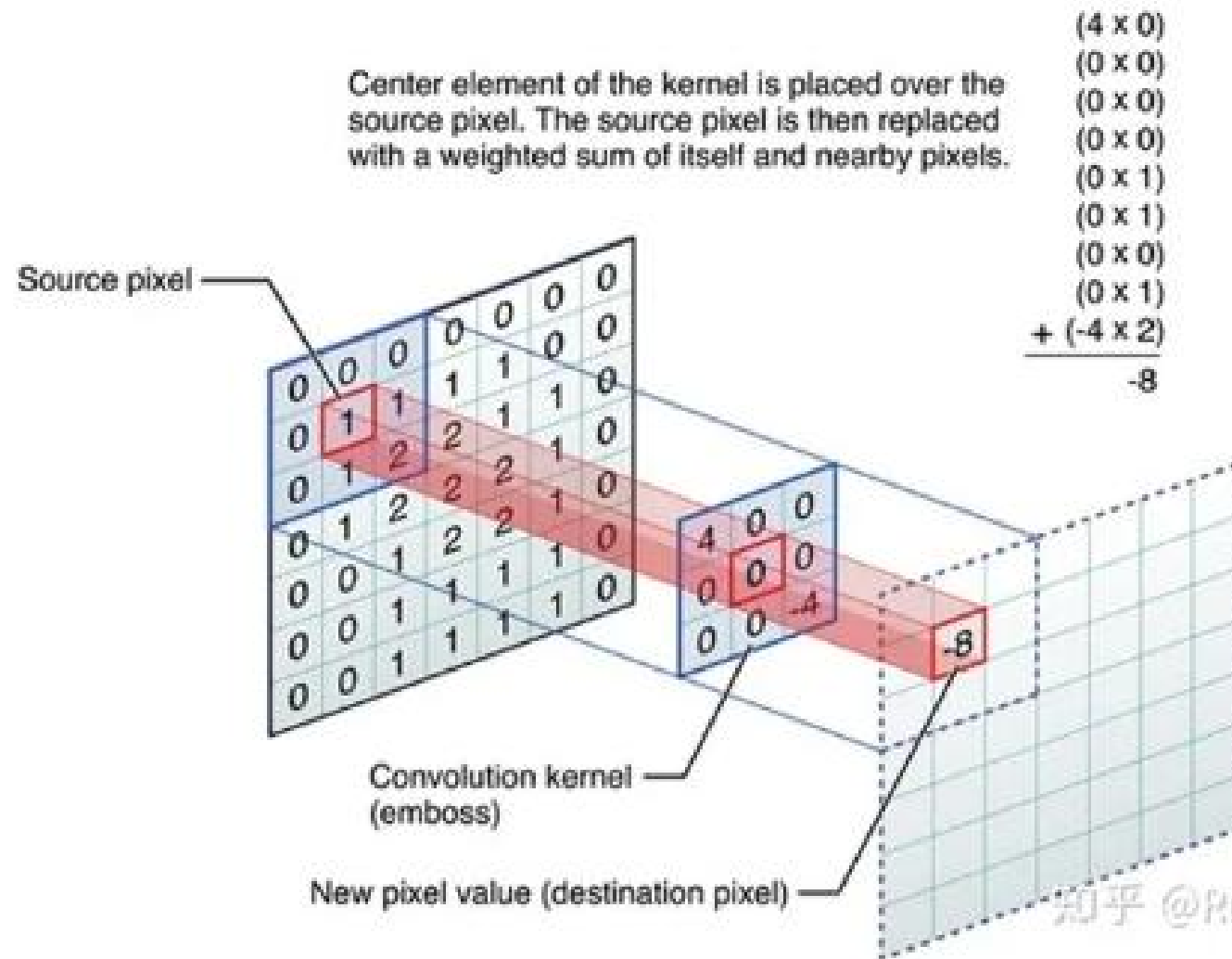
滤波的目的主要两个：

1. 通过滤波来提取图像特征，简化图像所带的信息作为后续其它的图像处理
2. 为适应图像处理的需求，通过滤波消除图像数字化时所混入的噪声

$$R_5 = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n R_i G_i$$

其中， $R_5$ 表示当前像素点， $R_i G_i$ 表示当前像素与滤波器对应值相乘的值， $n$ 为滤波器大小，举例来说如若此滤波器值全为1，则此公式计算的是当前像素点的8连通像素点的平均值，因此滤波完后的图像应表现为模糊的效果，模糊程度取决于滤波器的大小，滤波器大小(size)越大，模糊效果越明显。

Center element of the kernel is placed over the source pixel. The source pixel is then replaced with a weighted sum of itself and nearby pixels.



模板或卷积的加权运算中，存在的具体问题：

- **图像边界问题**，当在图像上移动模板（卷积核）至图像的边界时，在原图像中找不到与卷积核中的加权系数相对应的9个像素，即卷积核悬挂在图像缓冲区的边界上，这种现象在图像上下左右四个边界上均会出现。
- **如何处理？**

# 卷积边界处理

## 1.零填充(Zero Padding)

- 在原始图像周围填充零值像素，使其在进行卷积操作时能够保持原始图像大小不变，保留边界信息，使得卷积核能够正确地处理边缘像素。

## 2.同样填充(Same Padding):

- 在输入特征图的边缘添加适当数量的像素，使得卷积操作后的输出与原始输入图像具有相同的大小，可以保留边缘信息，同时避免了输出尺寸的缩小。

## 3.边缘复制填充(Edge Padding)

- 将图像边界的像素值复制到填充区域，使得边缘像素的信息得到充分利用，能够保留图像边缘的特征。

## 4.反射填充(Reflection Padding):

- 基于图像边界的像素值，将像素值进行镜像或反射填充到填充区域，可以减少边界效应，并提供更平滑的填充。

## 5.不做处理(No Padding):

- 在进行卷积操作时，直接忽略边界像素。可能导致边界信息丢失或在特征提取中产生不良影响。

**选择合适的边界处理方式取决于任务的性质和数据集的特点。**