

**数字图像处理**

**Digital Image Processing**

# 有关授课教师

---

## 倪江群教授简介

倪江群于1998年6月在香港大学电机与电子工程学系获博士学位，1998年10月至2000年10月在中山大学和广东省电信科学技术研究院博士后工作站工作。2000年至今先后在中山大学信息科学与技术学院和数据科学与计算机学院工作，目前为教授、博士生导师。倪江群博士的研究方向为多媒体信号处理和通信、多媒体信息隐藏和信息取证、机器学习与模式识别、嵌入式系统和应用。他主持了多项包括科技部重大国际合作项目、国家自然科学基金、国家115电子发展基金、广东省自然科学基金重点项目在内的国家和省部级科技项目，他曾参与著名华裔科学家丁肇中教授领导的大型国际科技合作项目“阿尔法磁谱仪（AMS-02）”，并主持其中硅微条轨迹探测器热控系统（TTCS）的电子控制系统，中山大学参与研制的热控制系统是国内大学参加AMS-02项目中唯一在太空运行的装置。

# 数字图像处理

---

## ● 课程介绍

- ✓ 教材及参考书
- ✓ 上课主要内容
- ✓ 课程目的与要求
- ✓ 考试内容
- ✓ 助教老师
- ✓ 国内外相关会议和杂志

# 教材及参考书

---

- 教材

✓ Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods著，  
阮秋琦、阮宇智等译，数字图像处理（第二  
版），电子工业出版社，2003年。

✓ Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods,  
Digital Image Processing (Second Edition),  
Prentice Hall, 2003.

# 教材及参考书（续）

## ● 参考书

- ✓ Kenneth R. Castleman著，朱志刚、林学闇、石定机等译，数字图像处理，电子工业出版社，2002年。
- ✓ 章毓晋，图象工程上册—图象处理和分析，清华大学出版社，2003年。
- ✓ 阮秋琦，数字图像处理学，电子工业出版社，2004年。
- ✓ 杨枝灵、王开等，Visual C++数字图像获取、处理及实践应用，人民邮电出版社，2003年。
- ✓ 章毓晋，基于内容的视觉信息检索，科学出版社，2003年。

# 上课主要内容

---

1. 概述
2. 数字图像基础
3. 灰度变换与空域滤波
4. 频率域滤波
5. 图像复原与重建
6. 图像压缩

# 上课主要内容 (续)

---

7. 形态学图像处理
8. 图像分割
9. 图像表示与描述
10. 图像处理应用实例
11. 复习与考试

# 课程目的与要求

---

- 掌握数字图像处理的基本概念、原理和方法
- 初步运用所学知识解决实际问题
- 为图像处理及相关领域的研究打下基础
  - ✓ 图像处理
  - ✓ 计算机视觉
  - ✓ 基于内容的图像、视频检索
  - ✓ 人脸识别、指纹识别、掌纹识别、虹膜识别
  - ✓ 图像分类、图像和视频的语义概念检测、.....

## 考试内容

---

- 平时作业40%， 考试成绩60%
- 平时作业包括：
  - 小作业
  - Project
  - 其他与图像处理相关的课题(需要上课老师认可)
- 考试闭卷完成（基本概念、原理和算法）

## 助教老师

---

- 饶远

E-mail: faraway3860@163.com

注意：有不懂的地方多问助教老师，充分发挥助教老师的指导作用

## 国内外相关会议和杂志

---

- 国内杂志：一级学报

- ✓ Journal of Computer Science and Technology (JCST) (SCI)
- ✓ 计算机学报
- ✓ 软件学报
- ✓ 电子学报
- ✓ 计算机研究与发展
- ✓ ...

## 国内外相关会议和杂志（续）

---

- 国外会议：

- ✓ IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)
- ✓ IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)
- ✓ ACM Multimedia Conference (MM)

## 国内外相关会议和杂志（续）

---

- 国外会议：

- ✓ IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)
- ✓ IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)
- ✓ International Conference on Pattern Recognition (ICPR)
- ✓ ACM International Conference on Image and Video Retrieval (CIVR)
- ✓ ...

## 国内外相关会议和杂志（续）

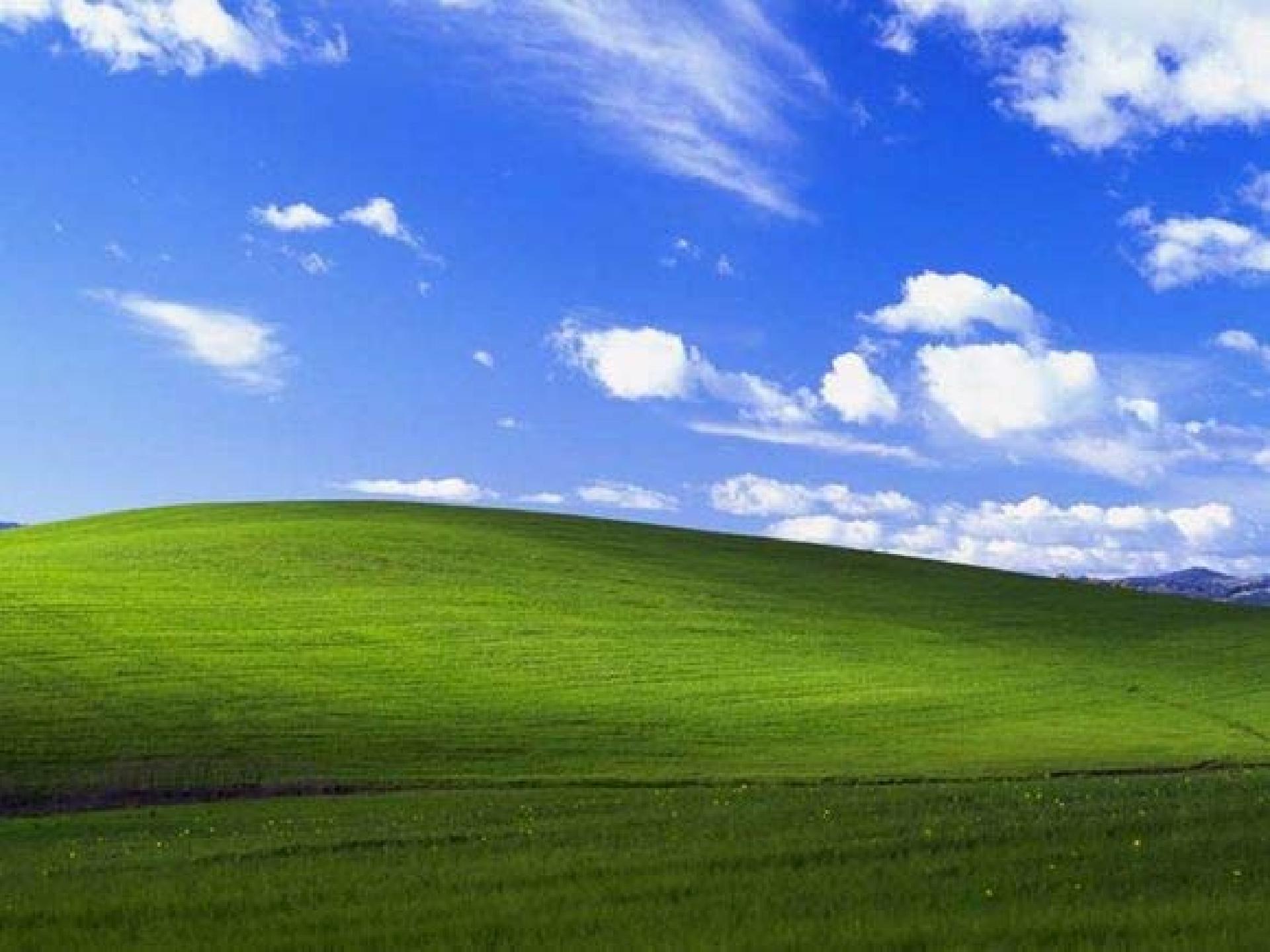
### ● 国外期刊：

- ✓ IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)
- ✓ IEEE Transactions on Image Processing (IP)
- ✓ IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology (CSVT)
- ✓ International Journal of Computer Vision (IJCV)
- ✓ Pattern Recognition (PR)
- ✓ Image and Vision Computing (IVC)
- ✓ ...

A dense forest scene with sunlight filtering through the canopy, creating bright highlights on the leaves.

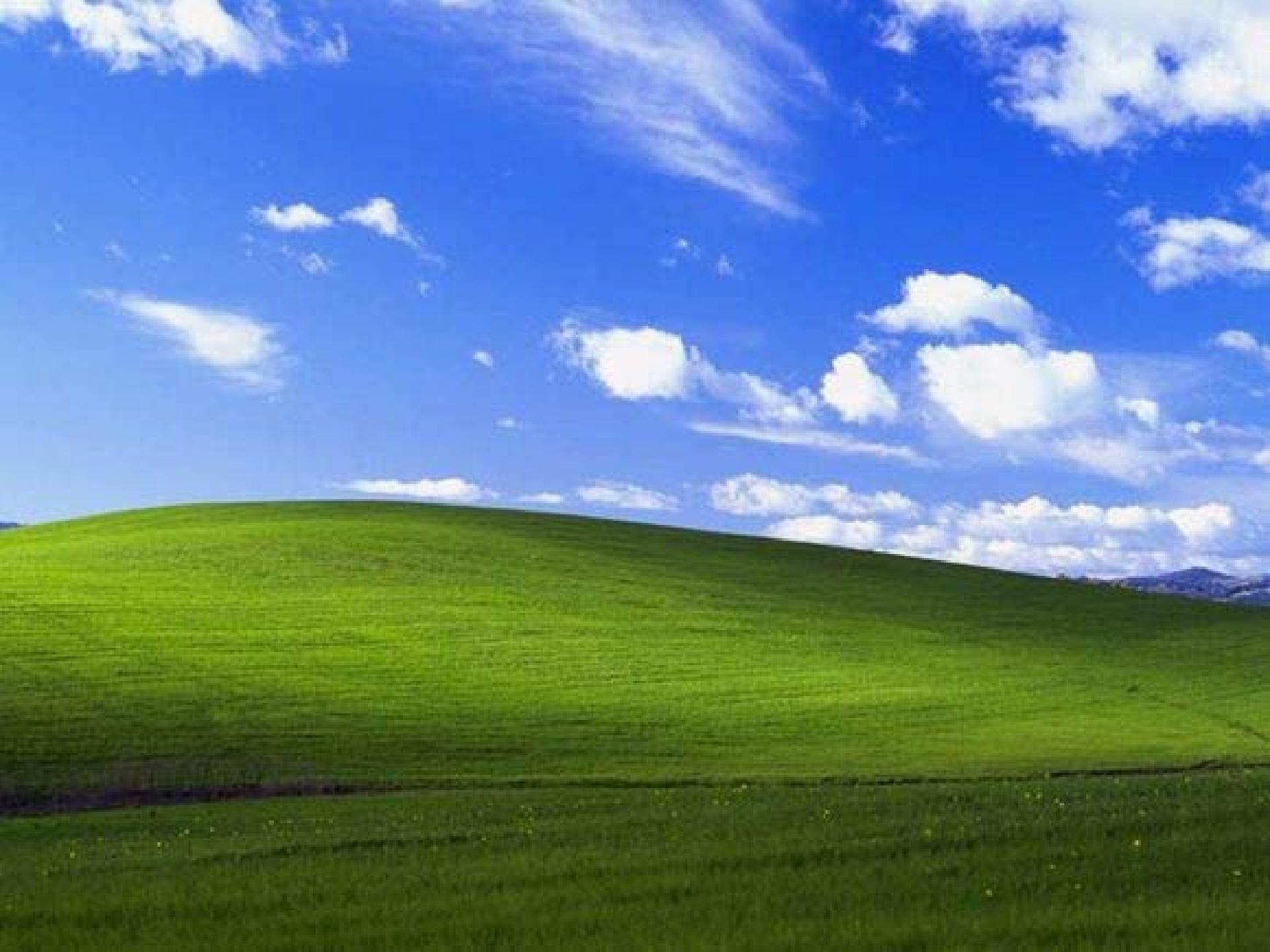
欢迎来到数字图像处理的  
神奇而美妙的世界！

**世界上最多人看过的图片？**







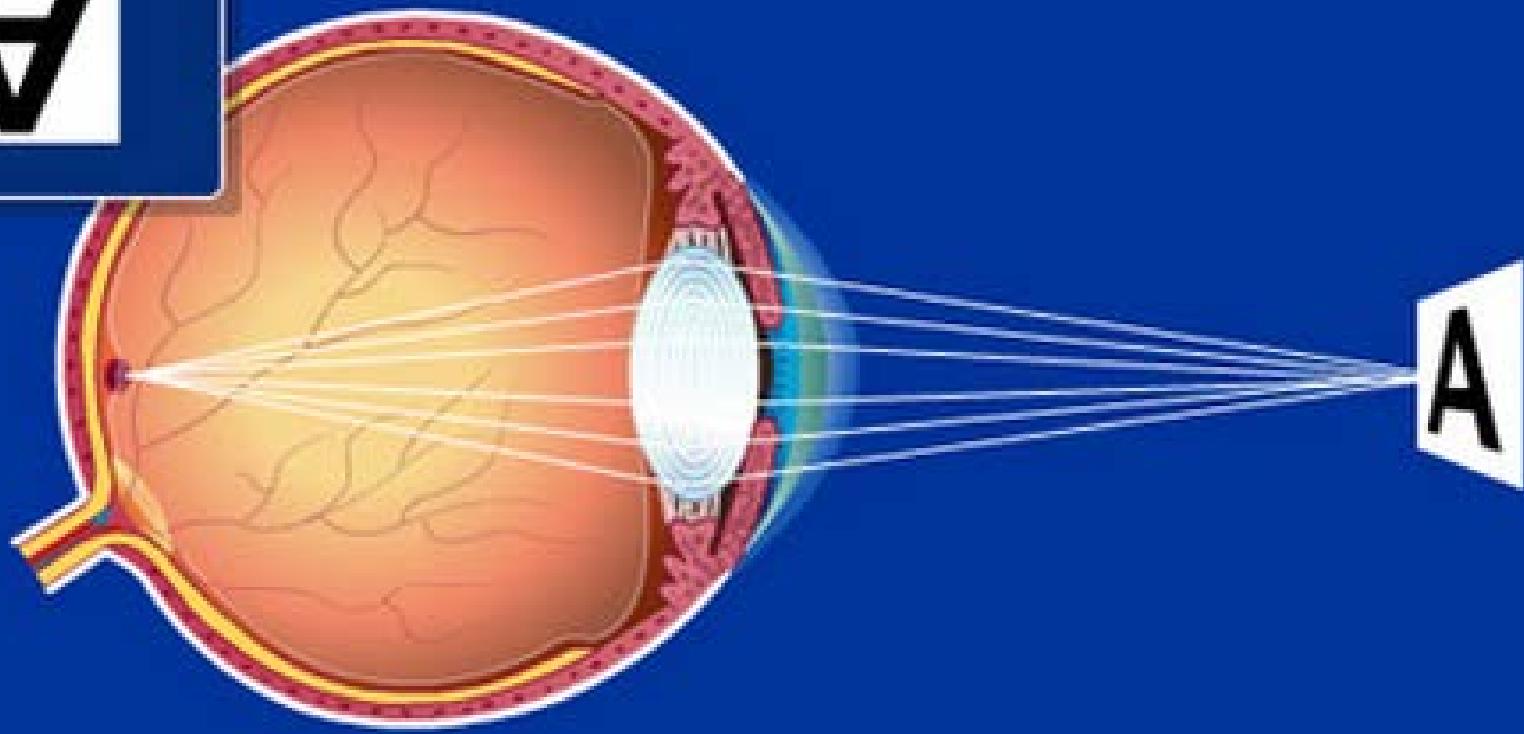


# **Introduction**

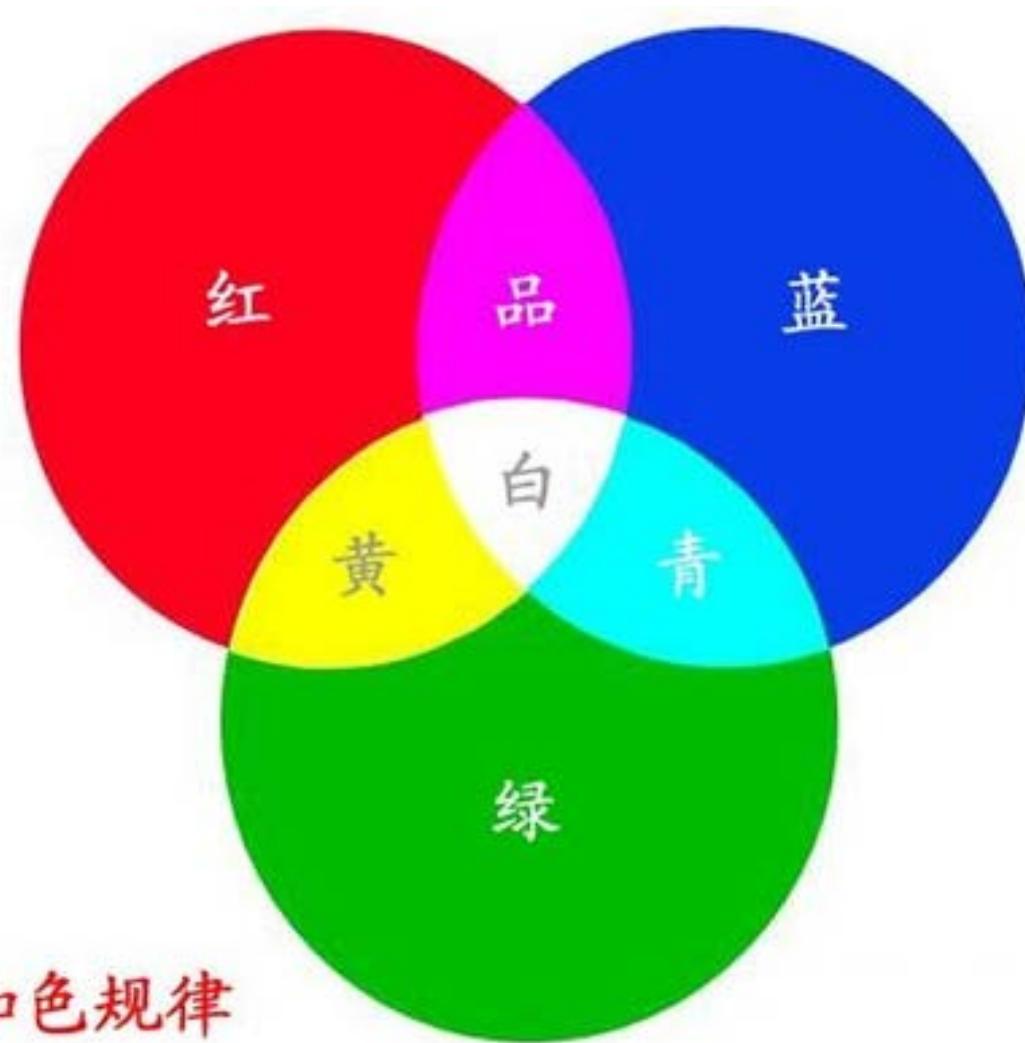
# 视网膜成像：上亿个感光细胞

视网膜成像

A

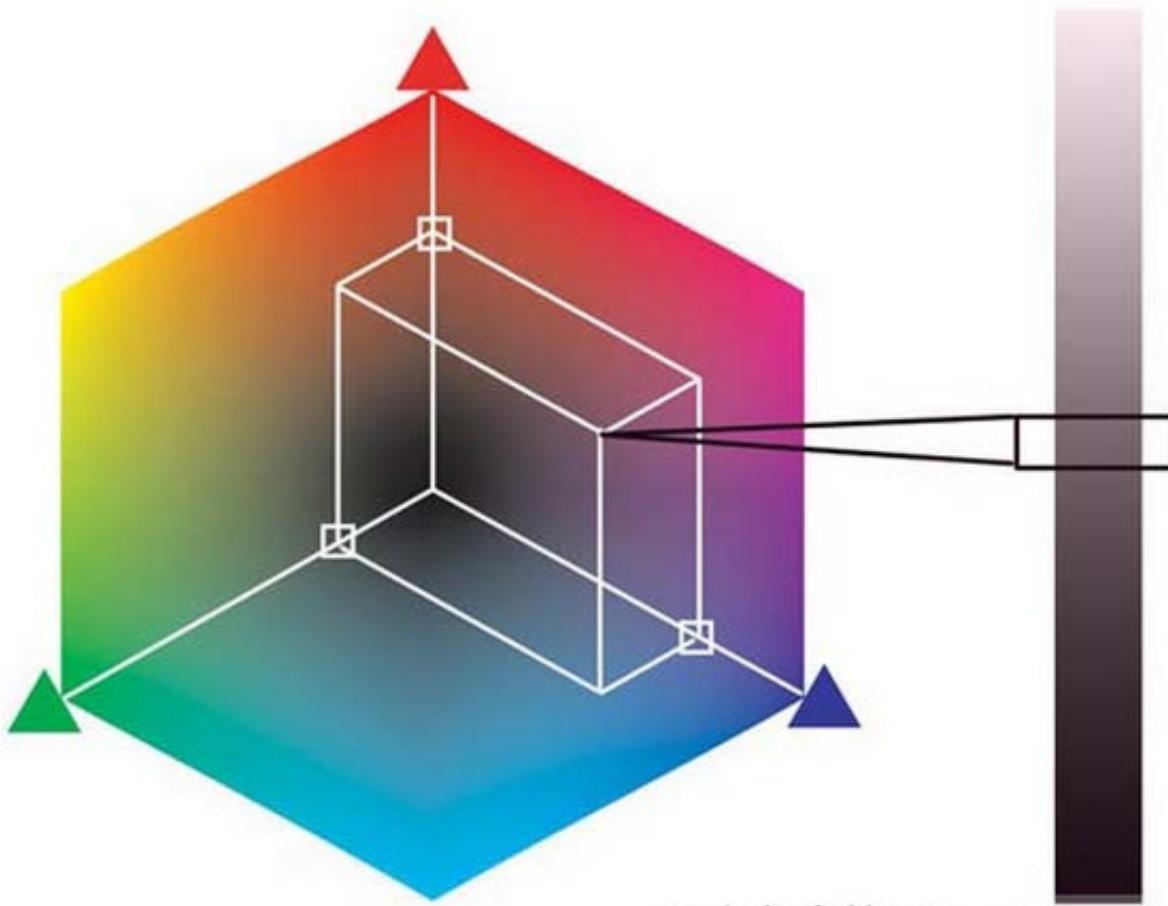


# 颜色三原色：红、绿、蓝



# RGB颜色空间

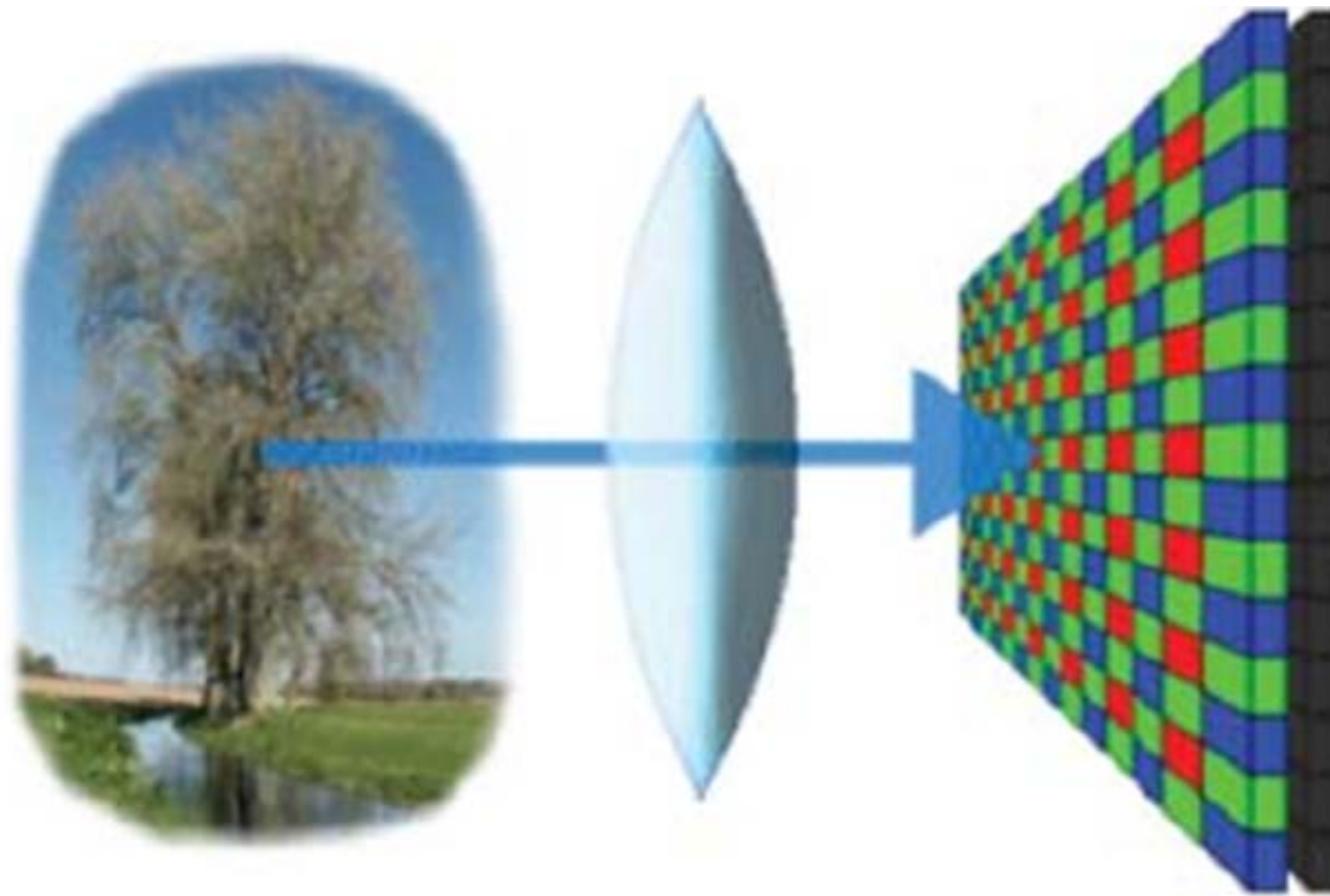
- $\text{Color} = a \text{ R} + b \text{ G} + c \text{ B}$

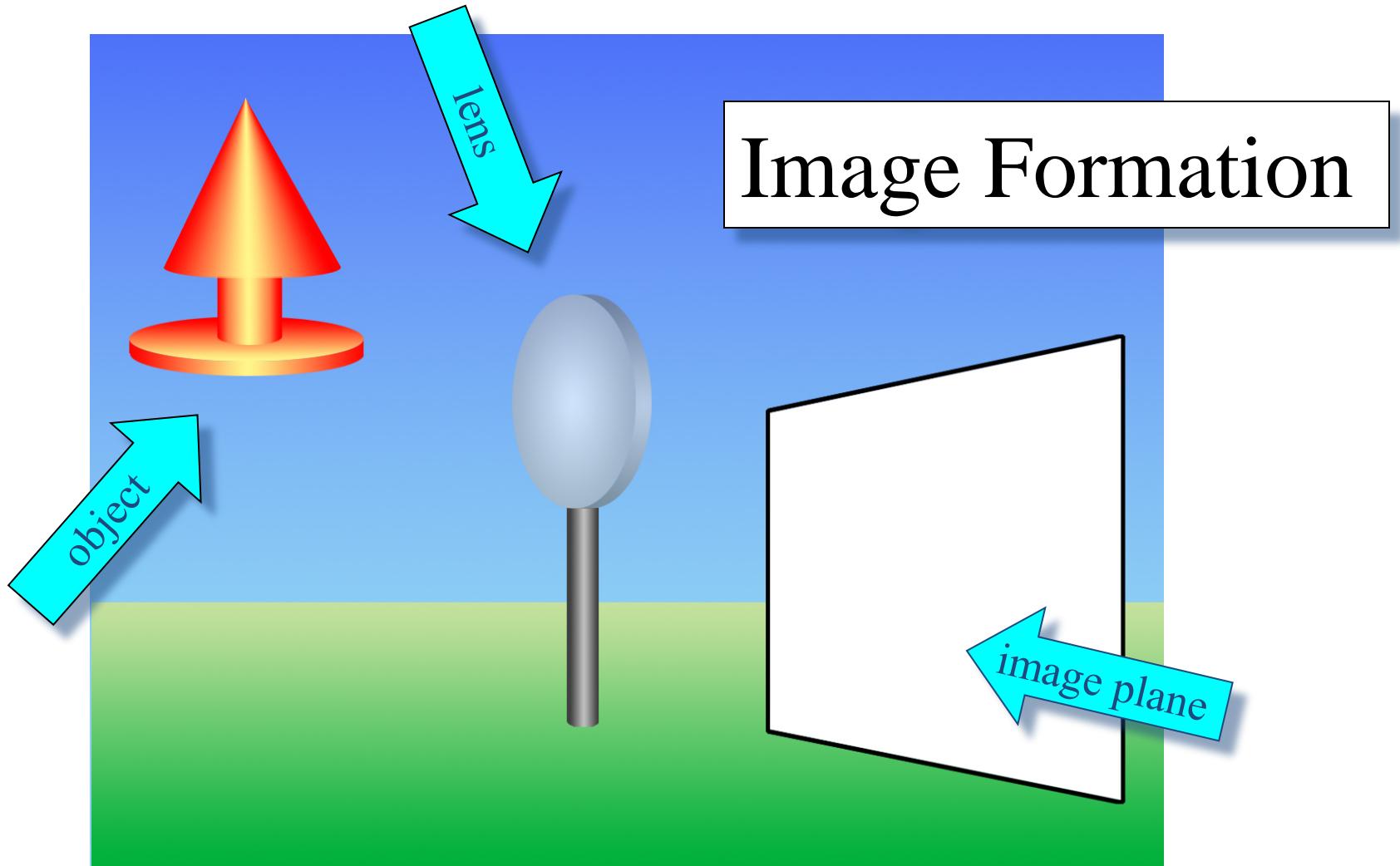


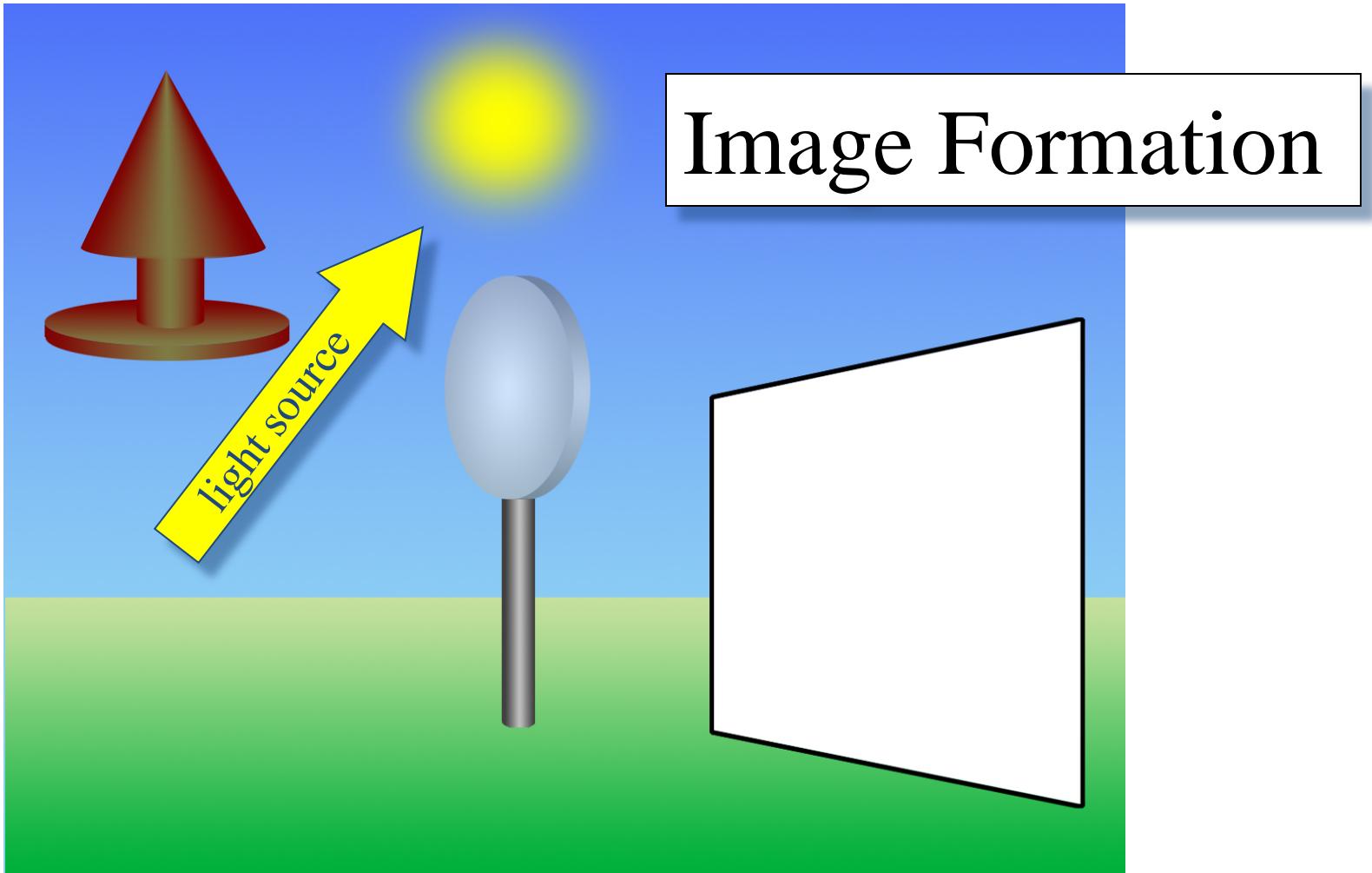
# Color Spaces: Different Basis

- RGB
- CMY
- CIE XYZ
- $l\alpha\beta$

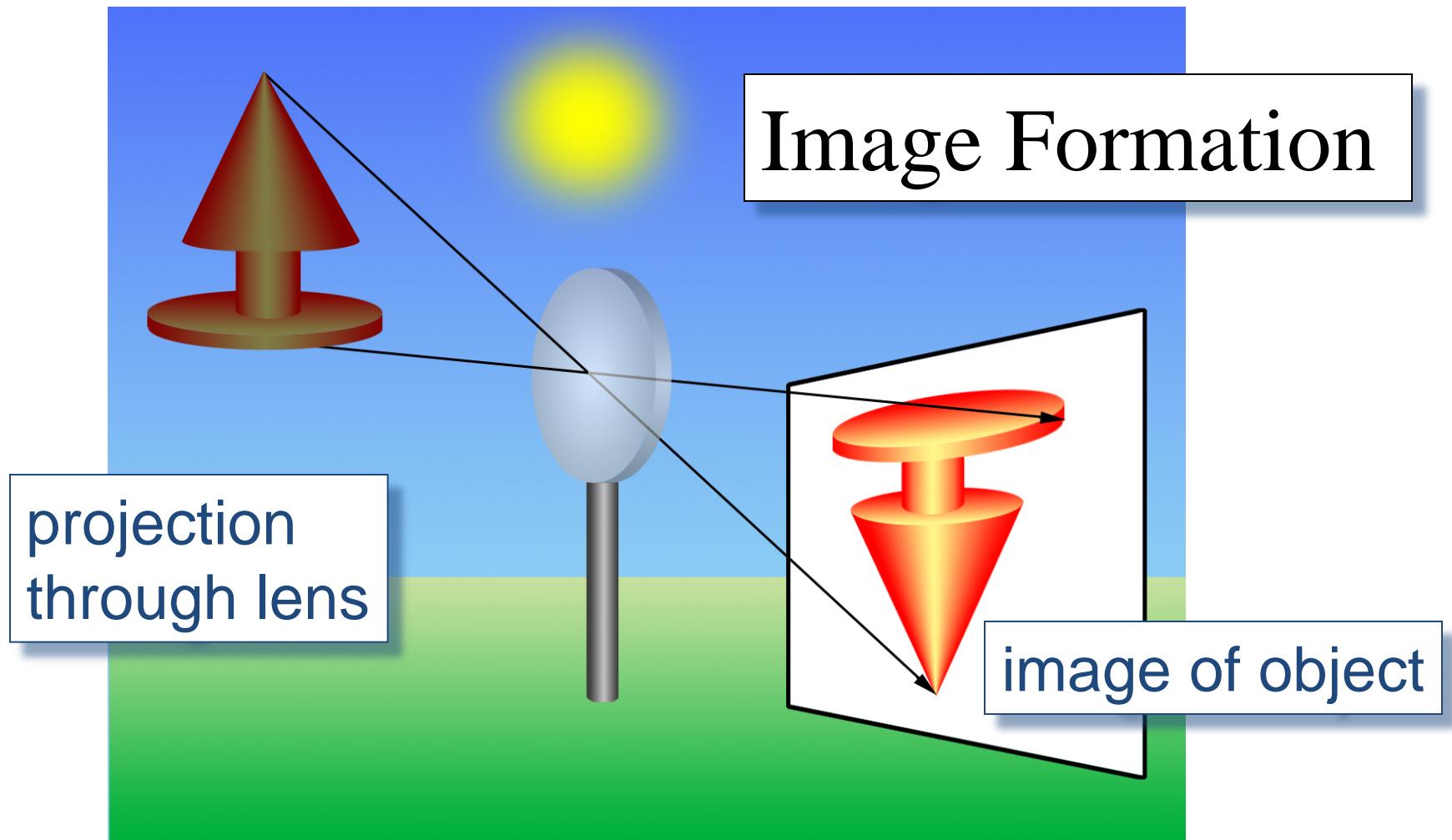
# 数字图像

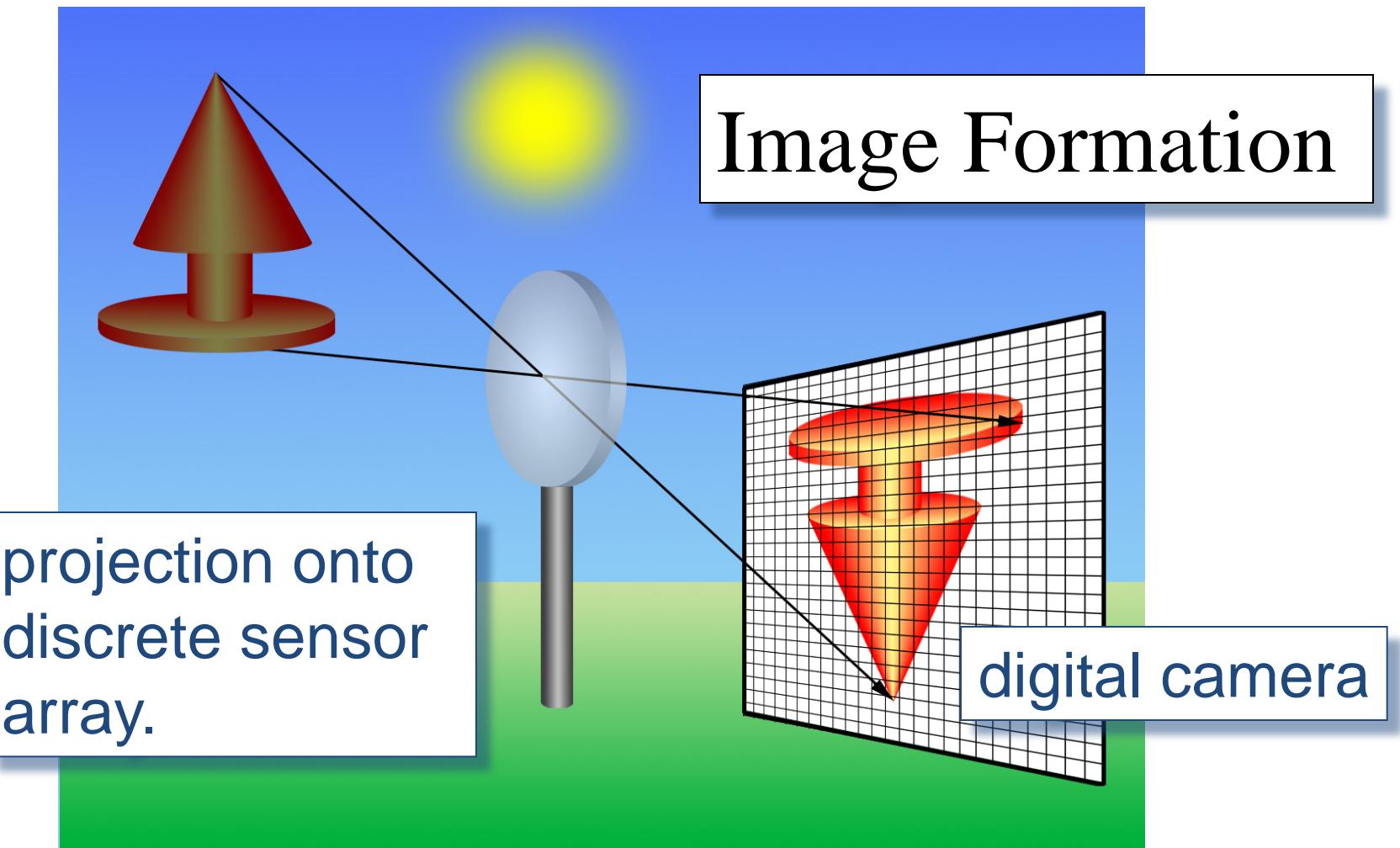


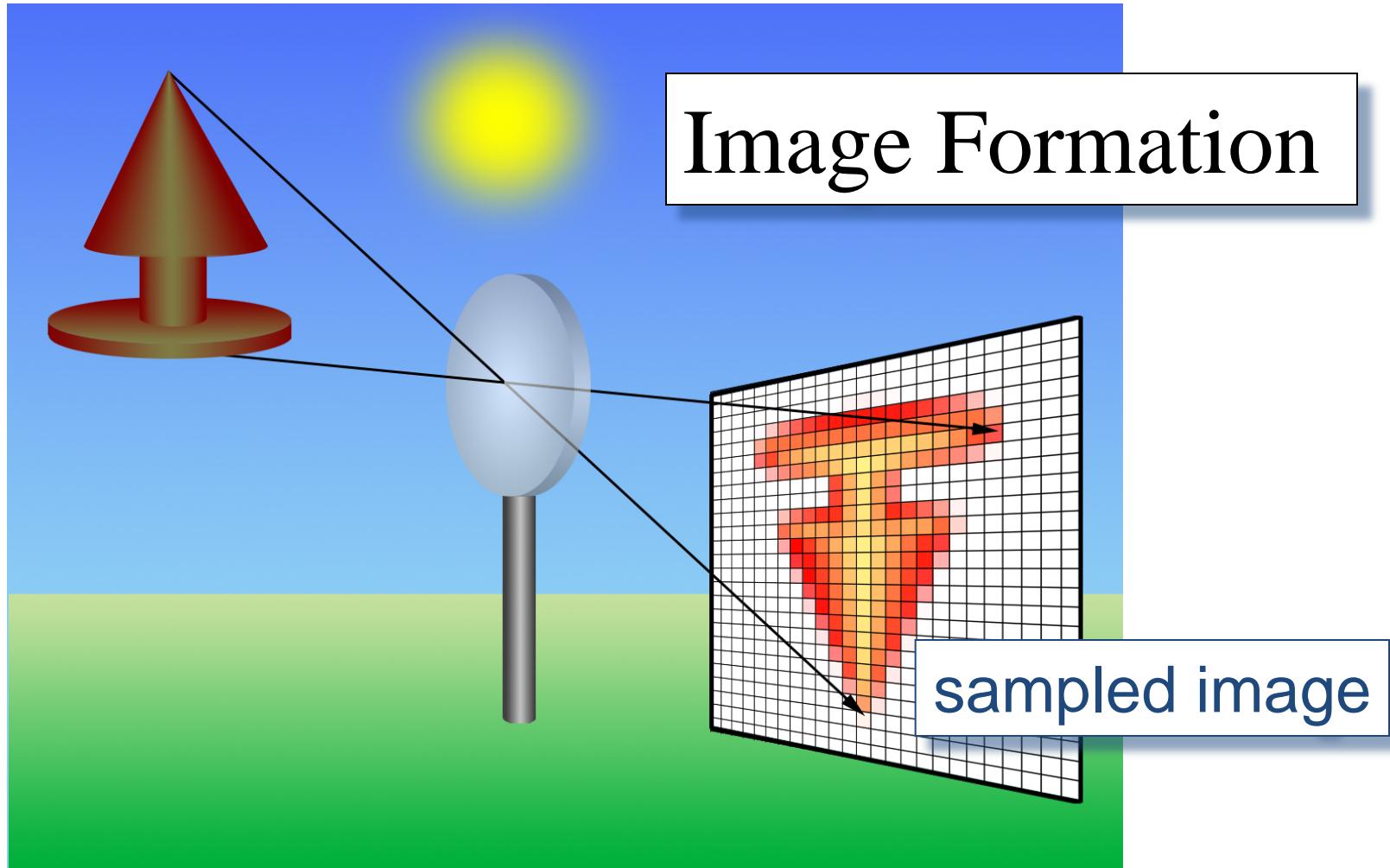


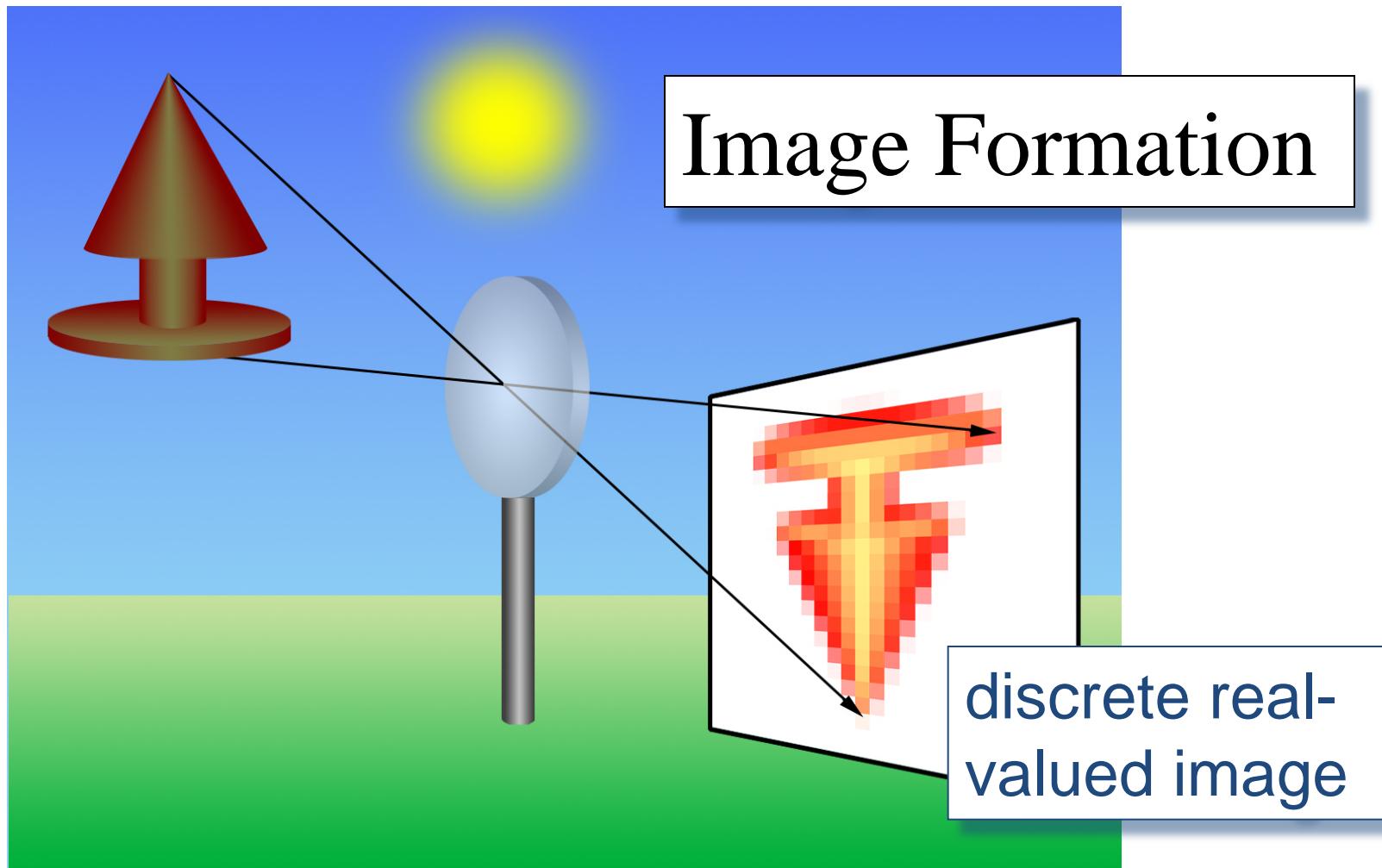


光源—> 目标对象—> 光学镜头—> 成像平面+离散位置+光学传感器阵列

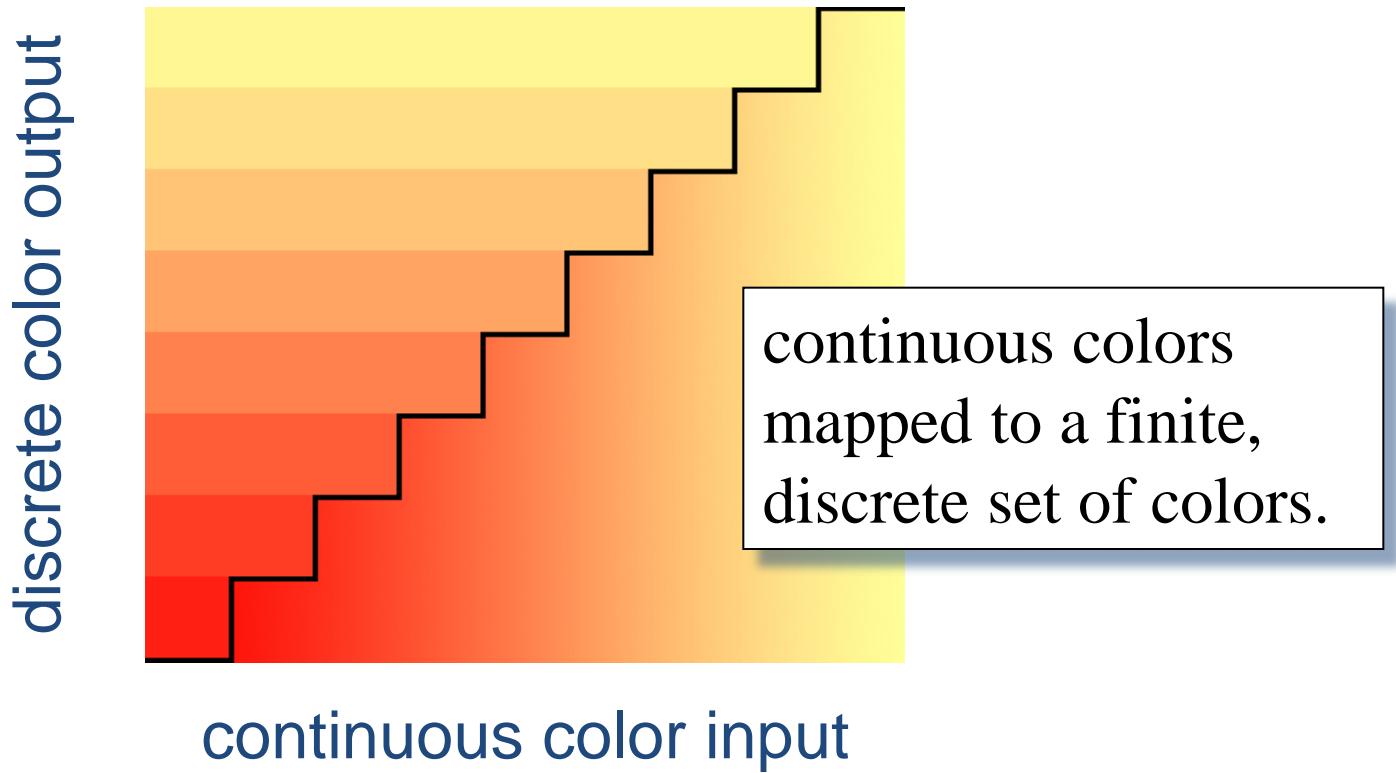




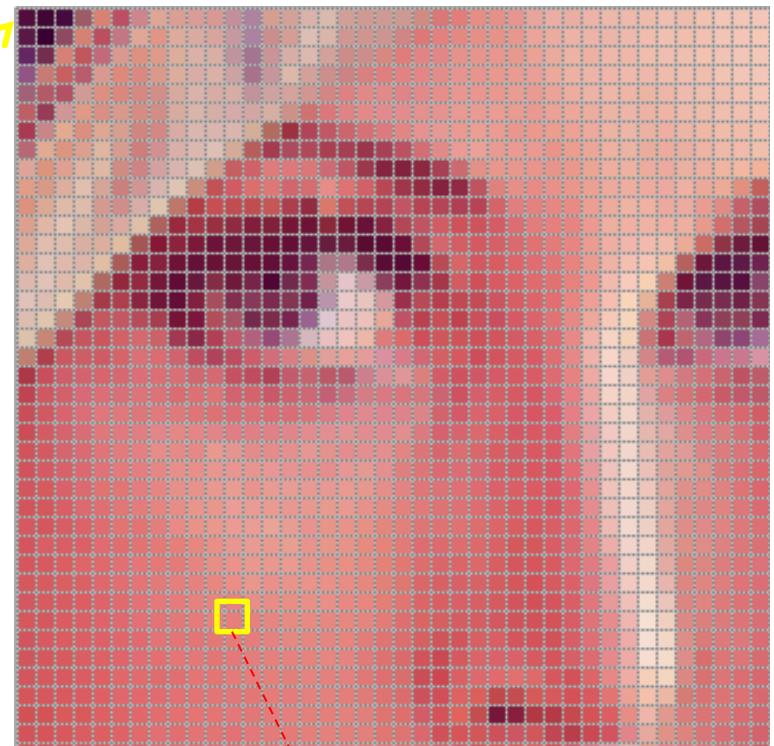
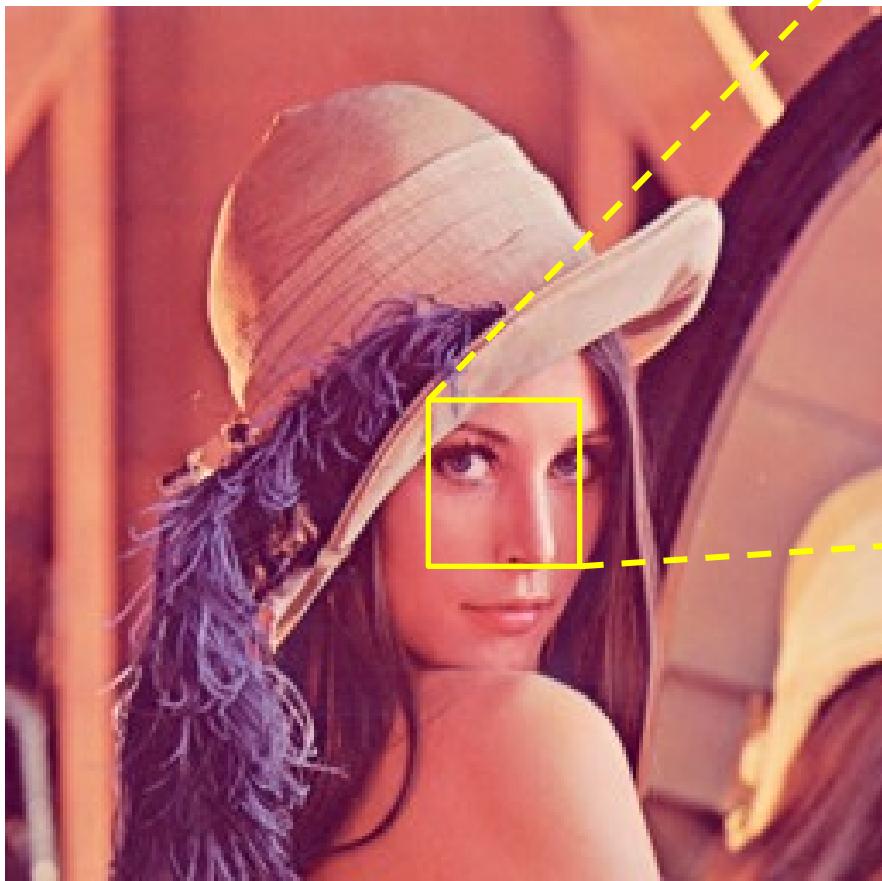




# 数字图像：连续空间的离散采样



# Digital Image



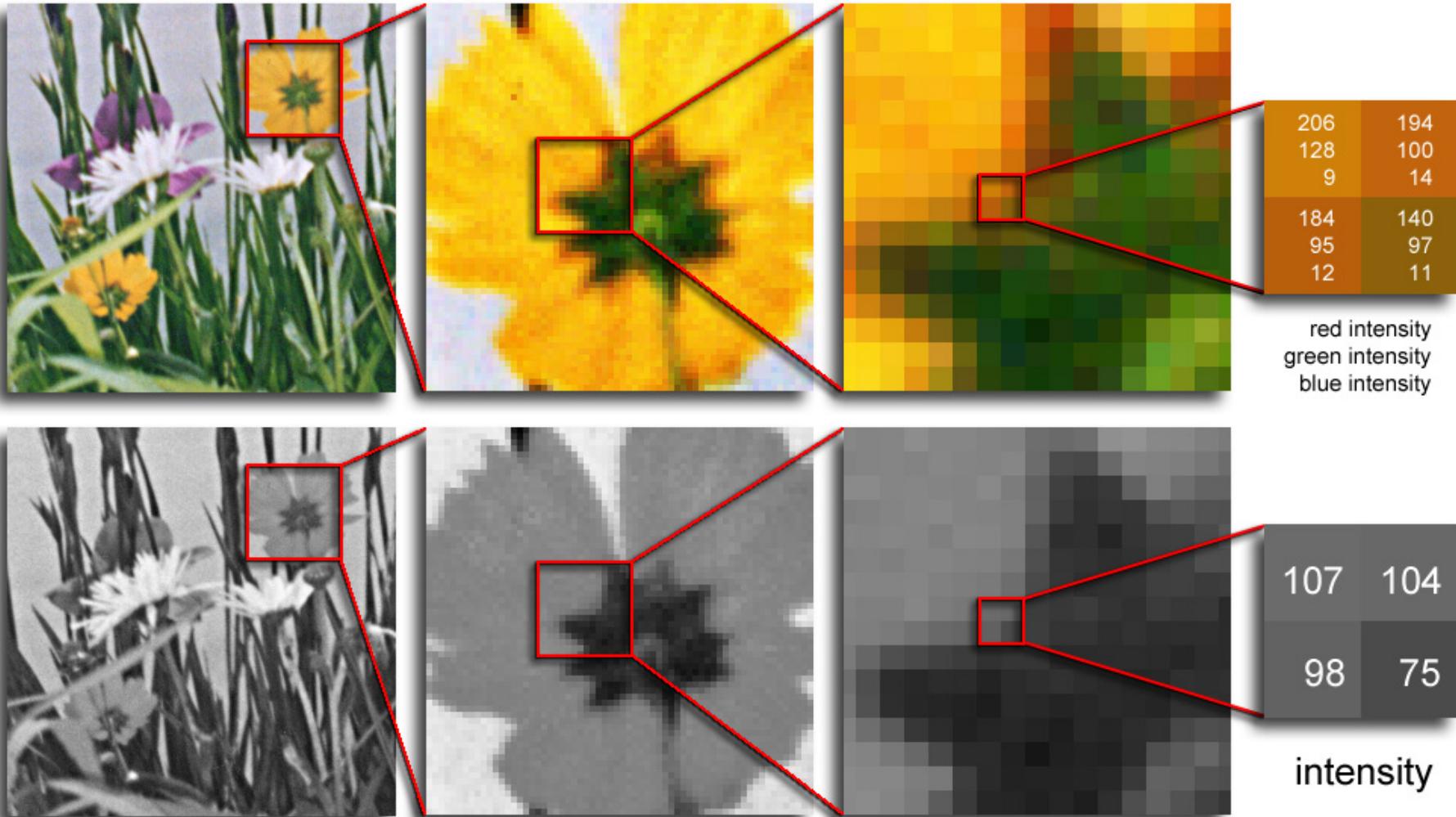
$0.6 R + 0.3 G + 0.1 B$



# Color Components



# Color Image and Gray Image



# 图像的连续数学模型： 平面区域上的向量值函数

- 区域内每个点有个颜色值
  - 每种颜色值是红、绿、蓝三个成分的线性组合
  - 颜色空间是三维线性空间

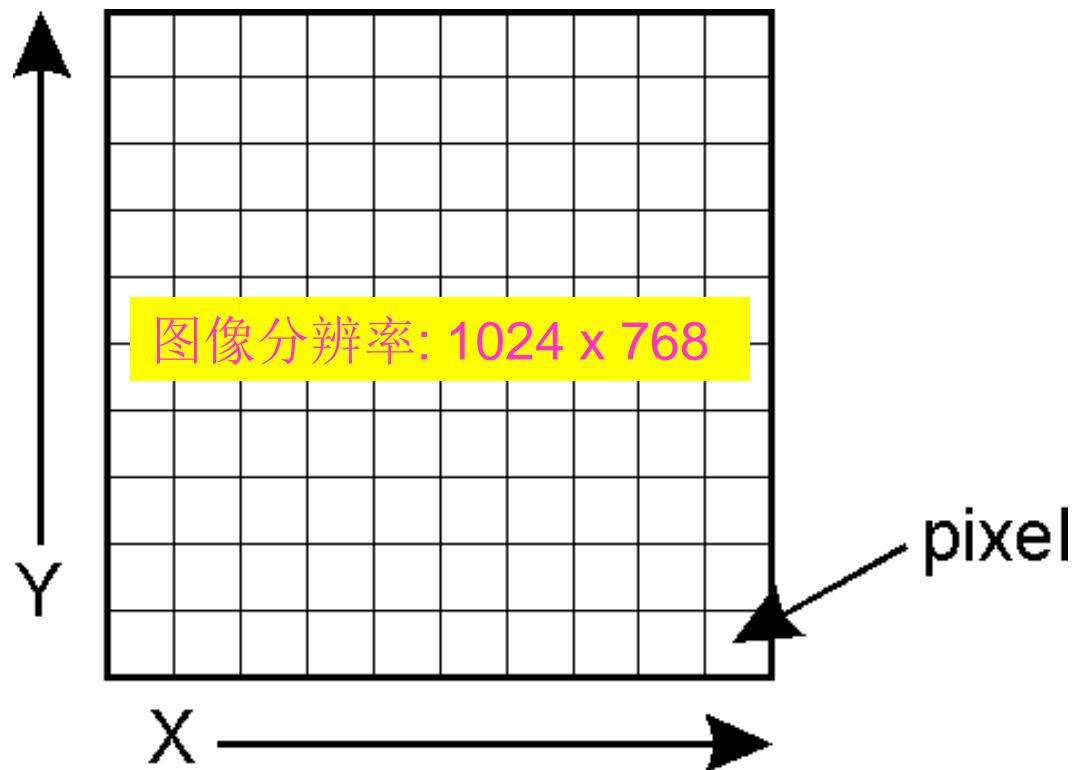


$$0.6 R + 0.3 G + 0.1 B$$

注：同样的颜色可以有不同亮度

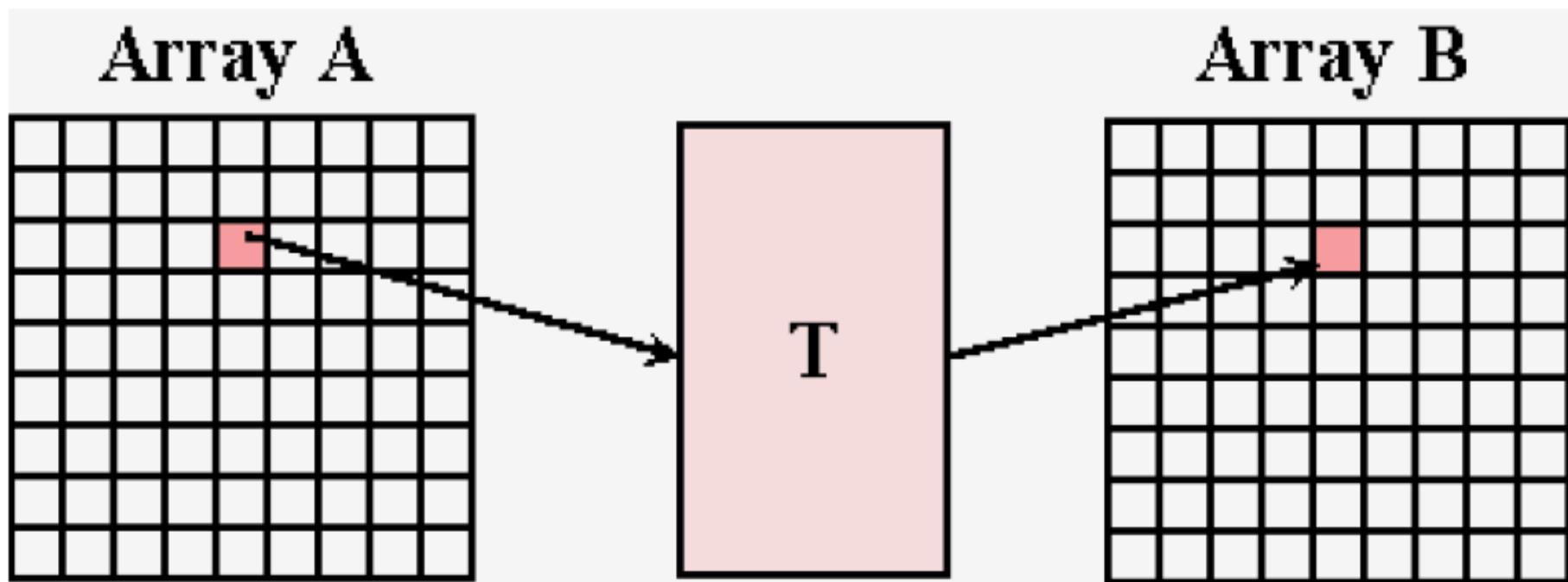
# 图像的离散数学模型：矩阵

- 分辨率



# 图像处理（图像变换）

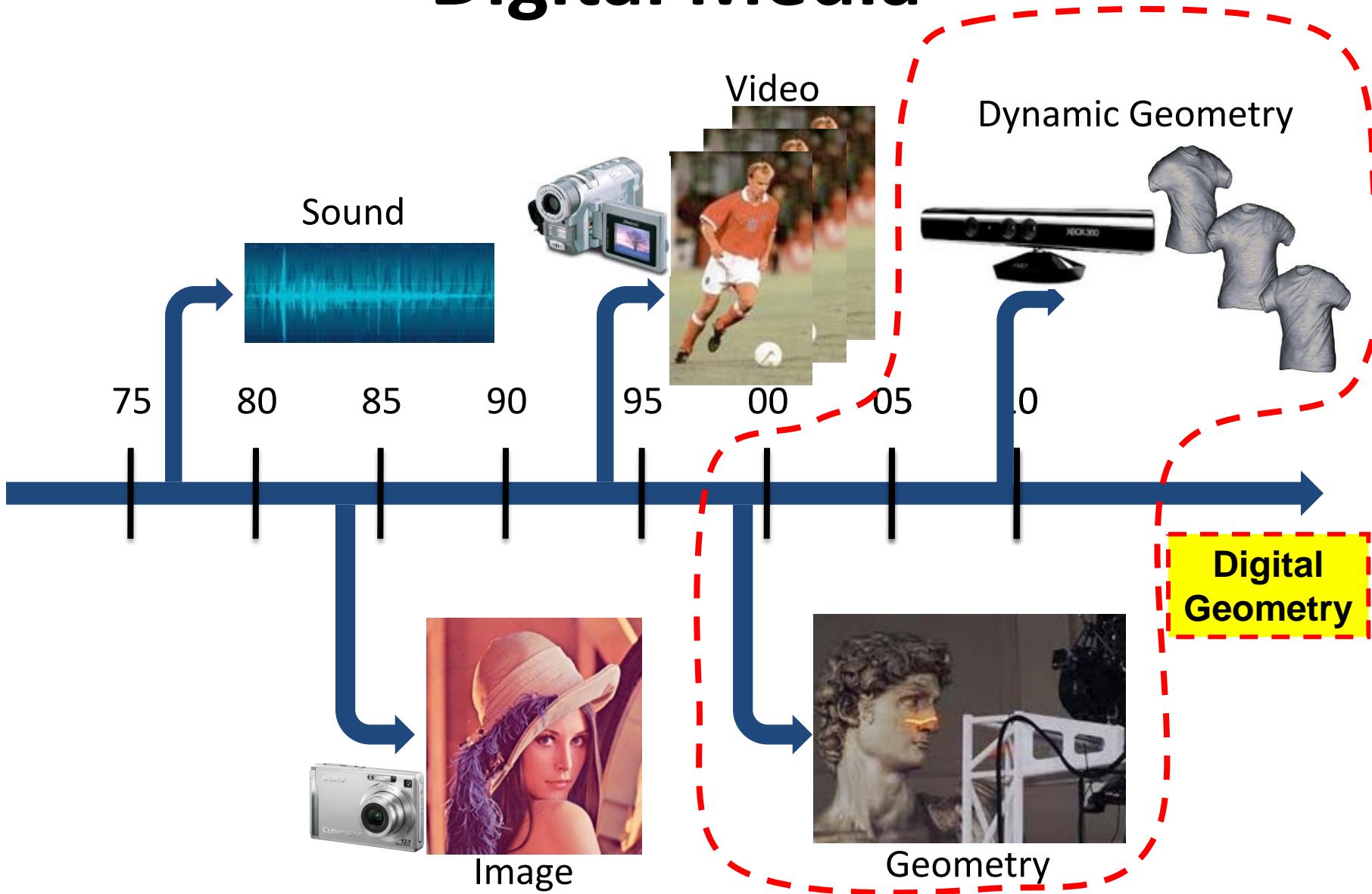
$$\mathbf{B}[x, y] = T[\mathbf{A}[x, y]]$$



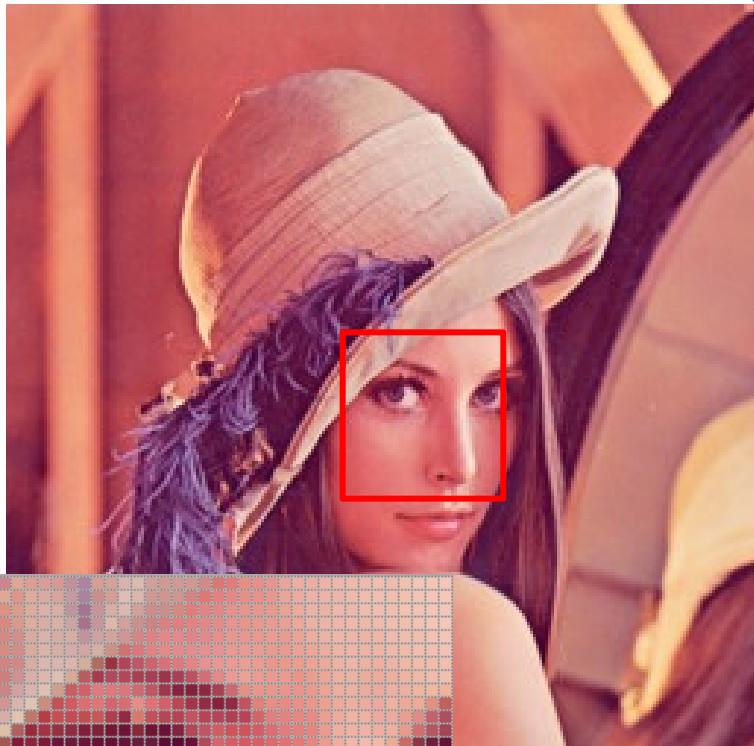
# Video: Image Sequence



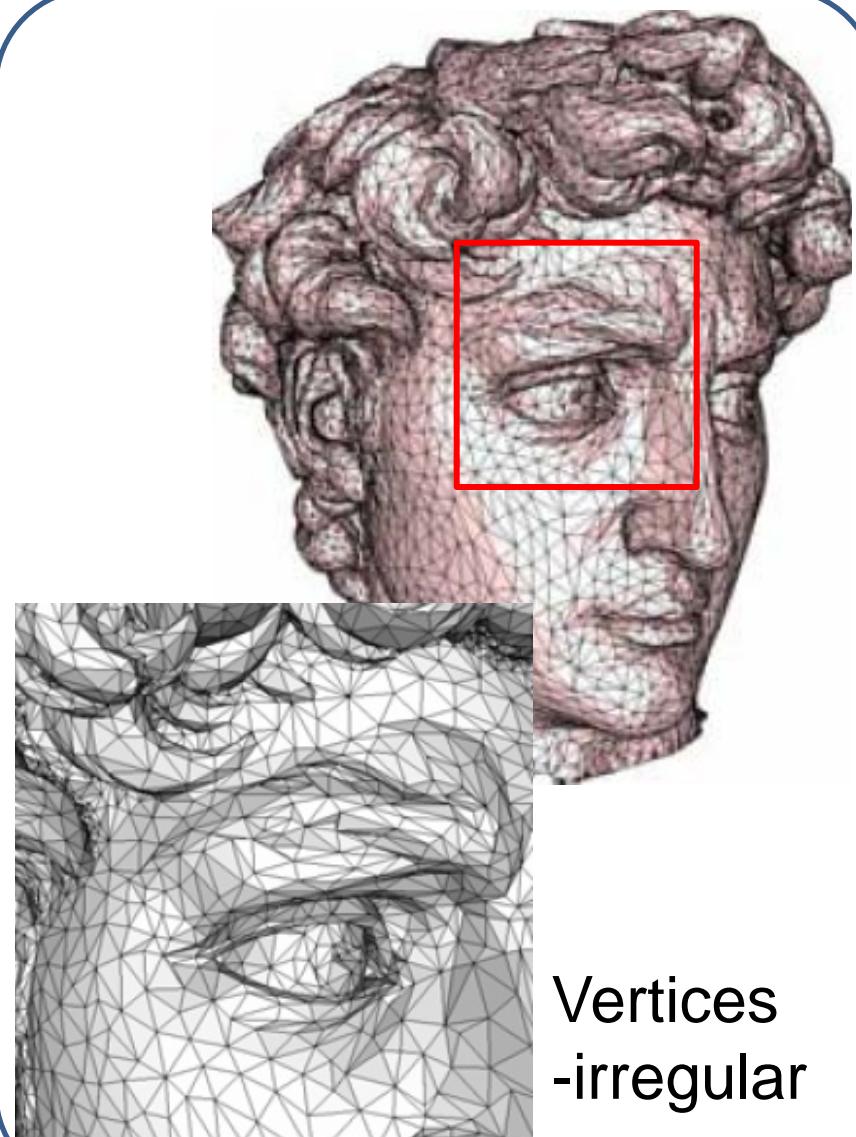
# Digital Media



# 2D Image vs. 3D Geometry



Pixels  
-regular



Vertices  
-irregular

# 无处不在的图像应用



风景

Search

SafeSearch

About 4,400,000 results (0.20 seconds)

[Advanced search](#)

Everything

**Images**

Videos

News

Shopping

More

**Sort by relevance**

[Sort by subject](#)

**Any size**

[Large](#)

[Medium](#)

[Icon](#)

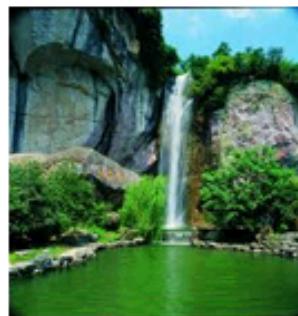
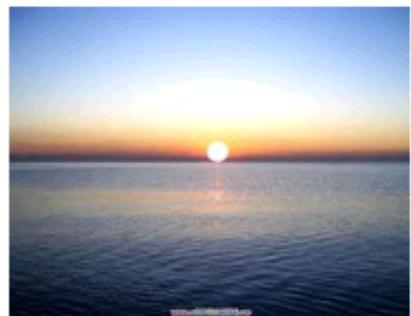
[Larger than...](#)

[Exactly...](#)

**Any color**

[Full color](#)

[Black and white](#)



# Internet上的海量图像



# 数字图像处理无处不在

- 数码相机、手机
- 个人电子相册
- Photoshop 处理

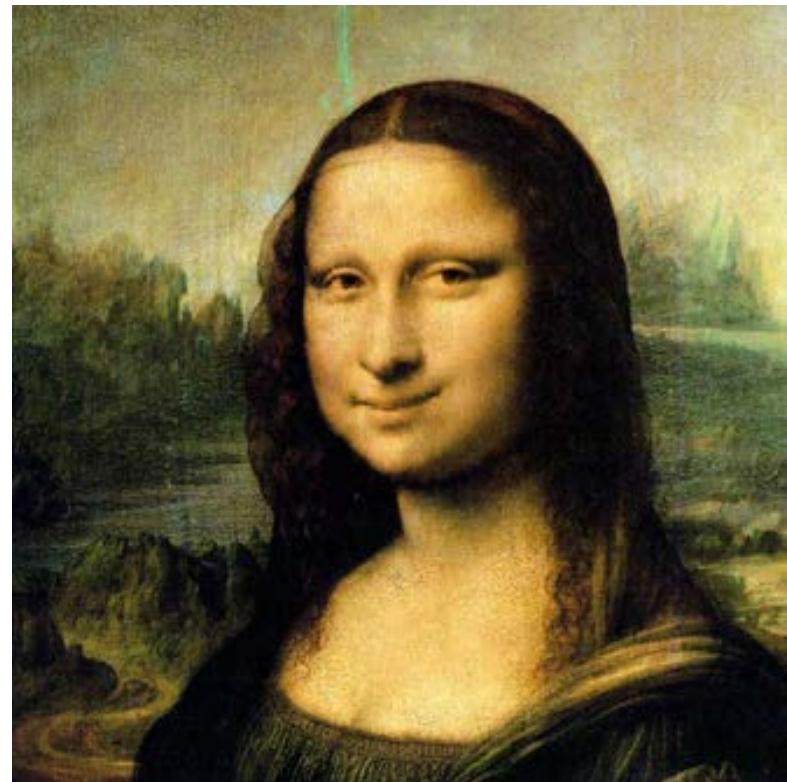
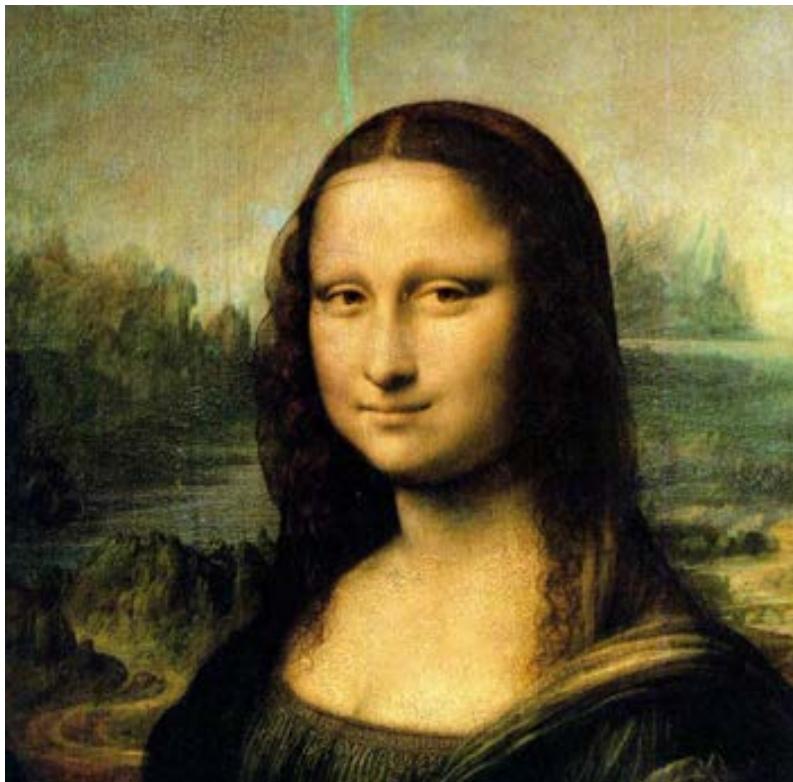


**人们对图像的处理要求日益增多**

# 例1：图像变形

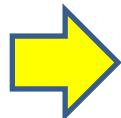
# 图像变形

- 特定效果的变形

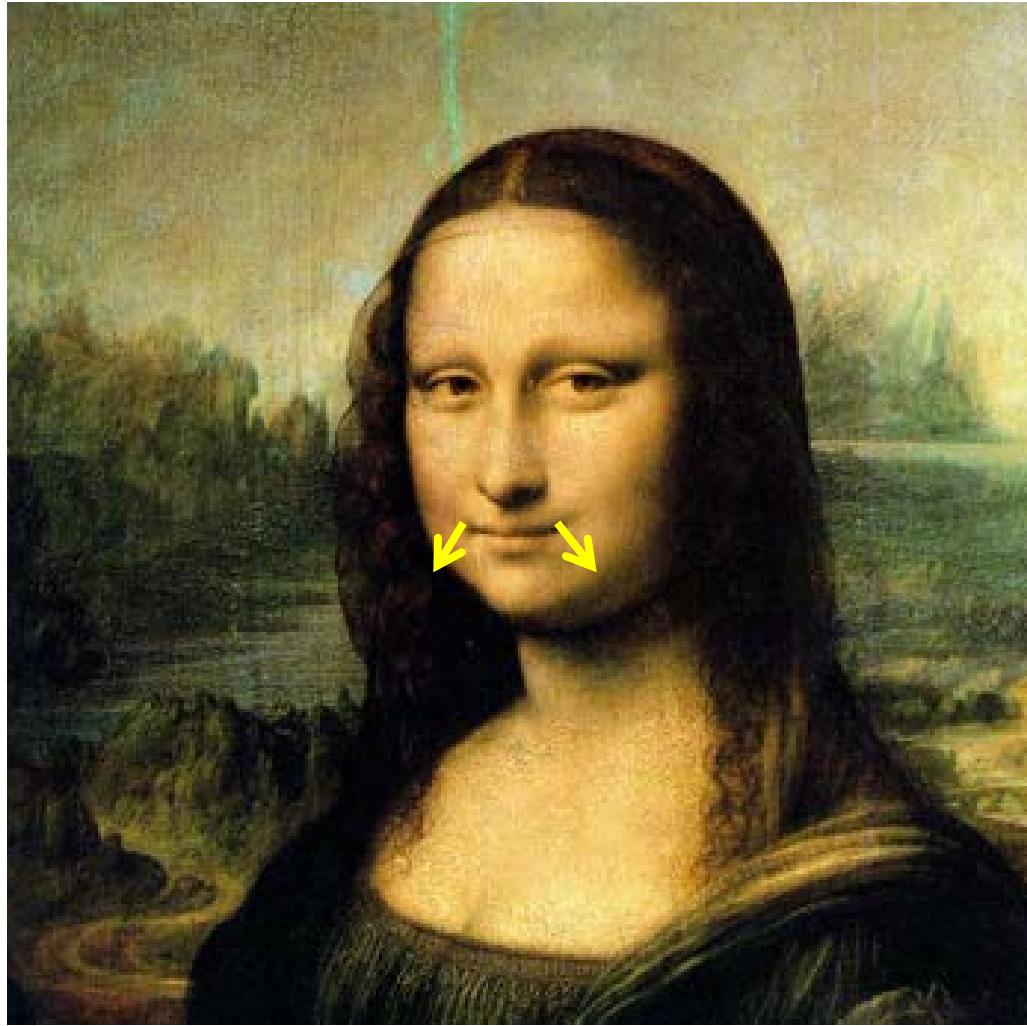


# 图像变形

- 特定效果的变形

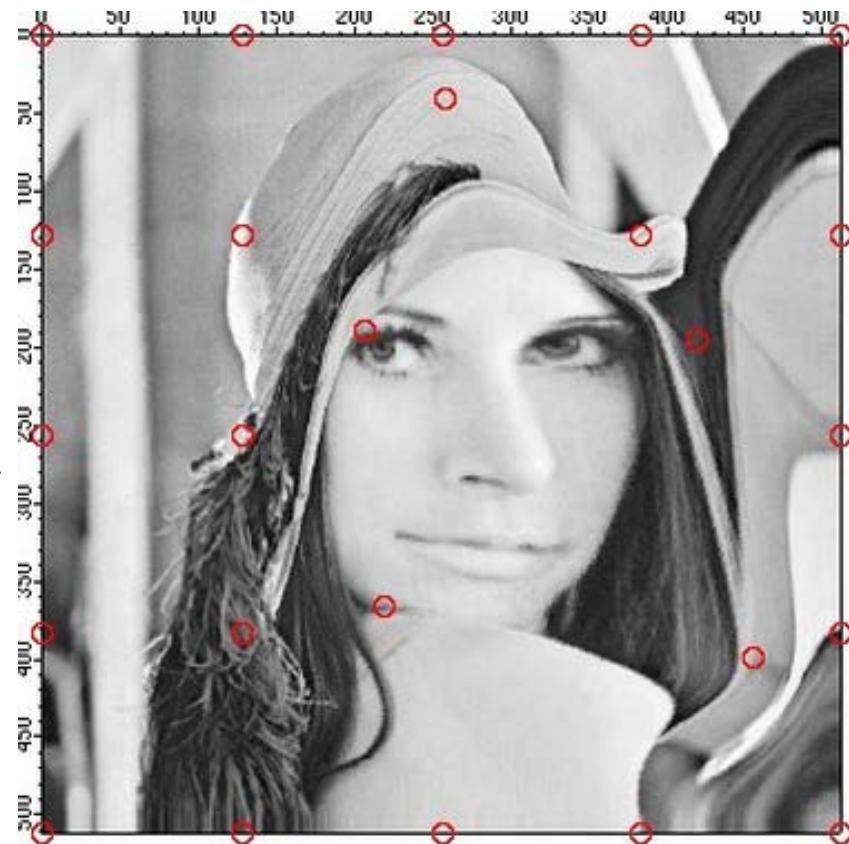
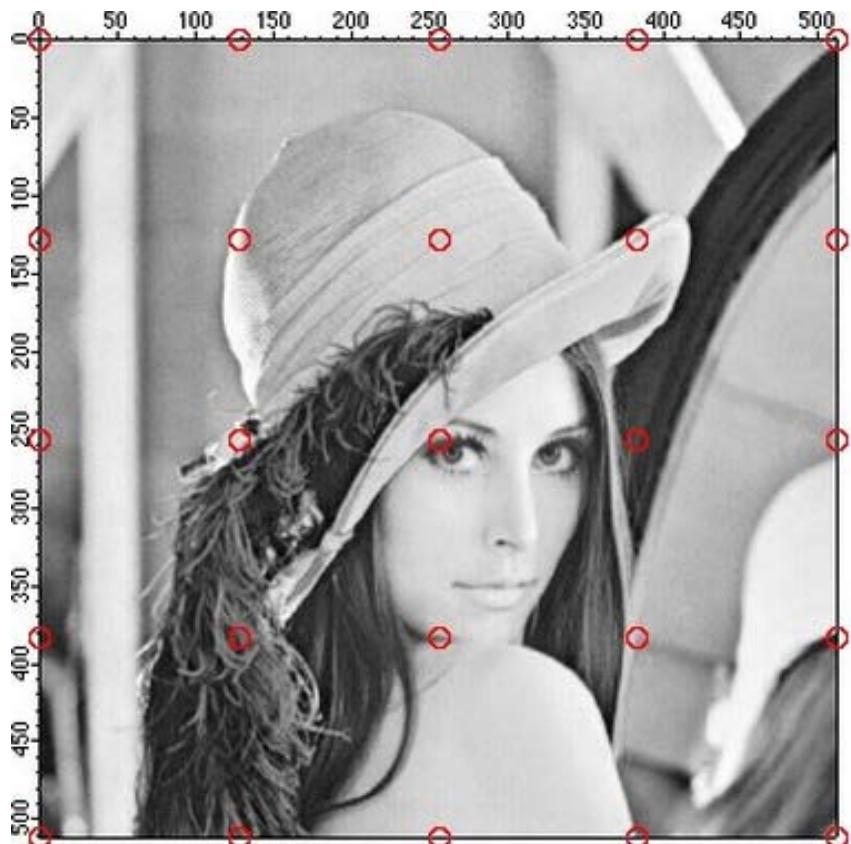


# 用户交互



[Demo](#)

# 如何做到的？



# 例2：扣图

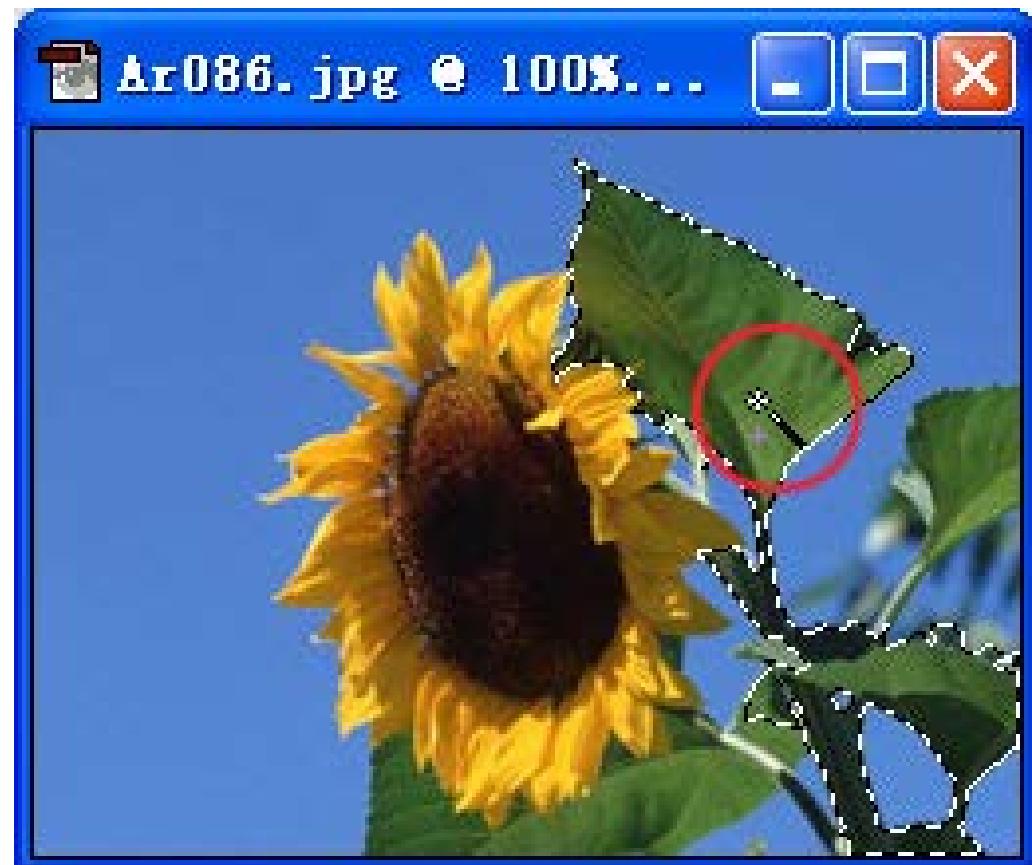
# 扣图

- 将物体从图像中分割出来



# 扣图

- Photoshop的工具：魔术棒
  - 用户交互指定边界
  - 繁琐，费时



# 扣图

- 智能做法：用户随意指定物体的大致内容



[Demo](#)

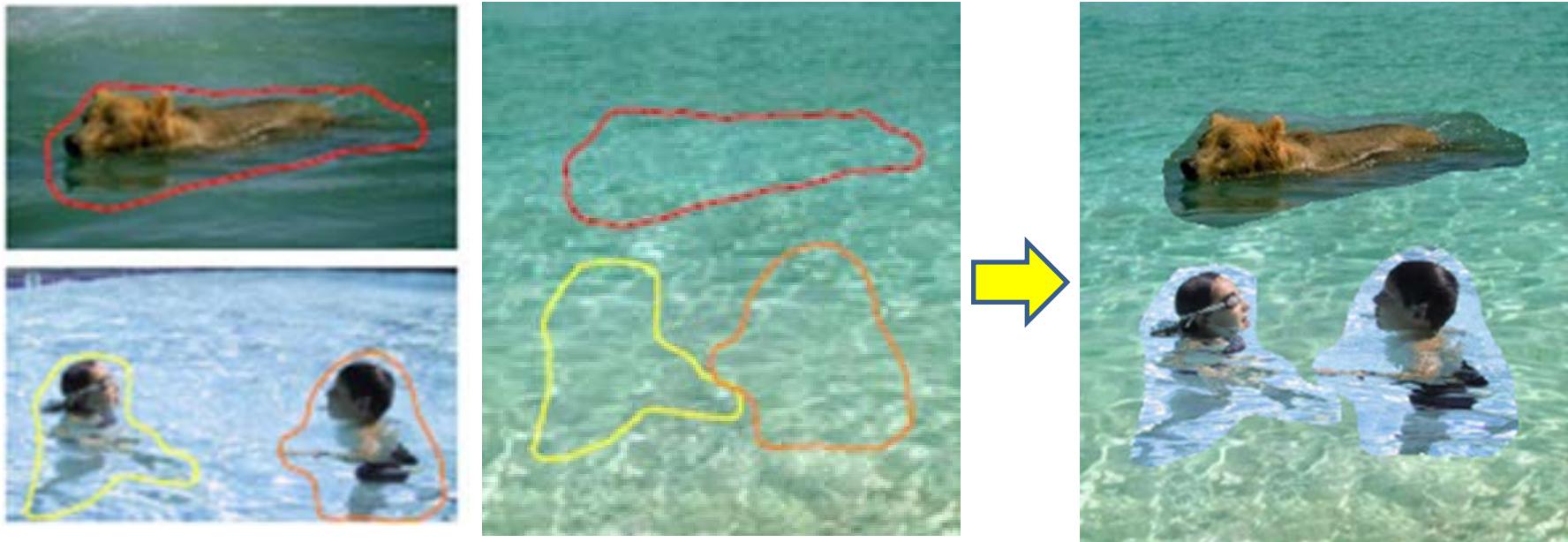
# 如何做到的？



# 例3：图像移植

# 图像移植

- 能否做到无缝移植？



[Demo](#)

# 如何做到的？



sources/destinations



cloning



seamless cloning

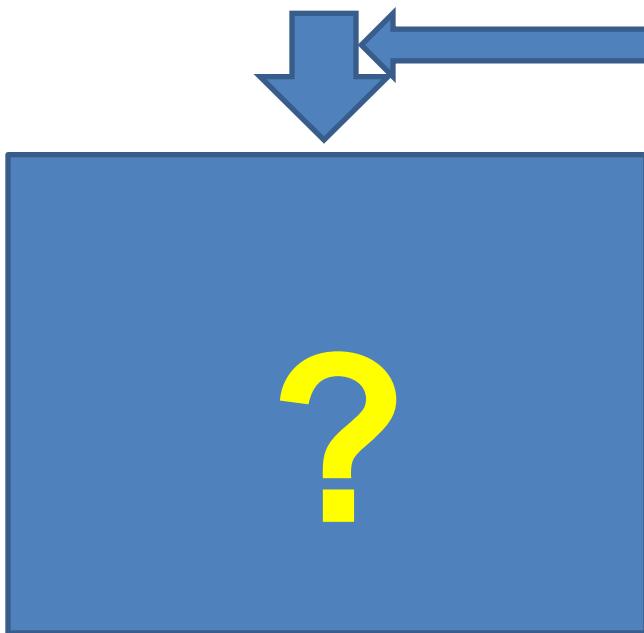


背后的原理是什么？

数学！ 数学！！ 数学！！！

# 其他各种应用

# Color Transfer



# Color2Grey



Color



Method 1



Method 2

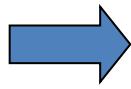
# Colorization



# Color Harmonization

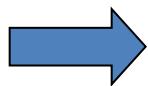


original image

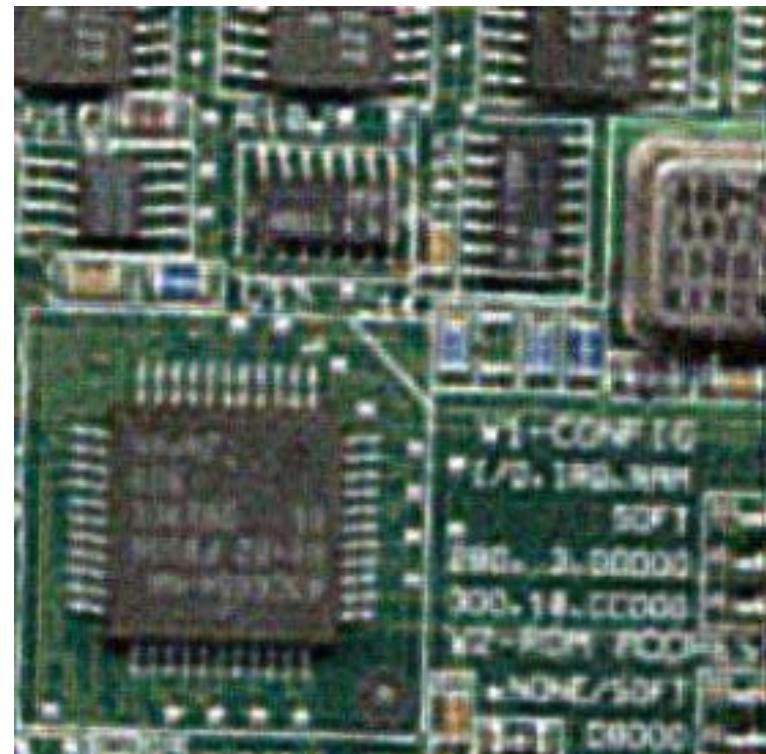
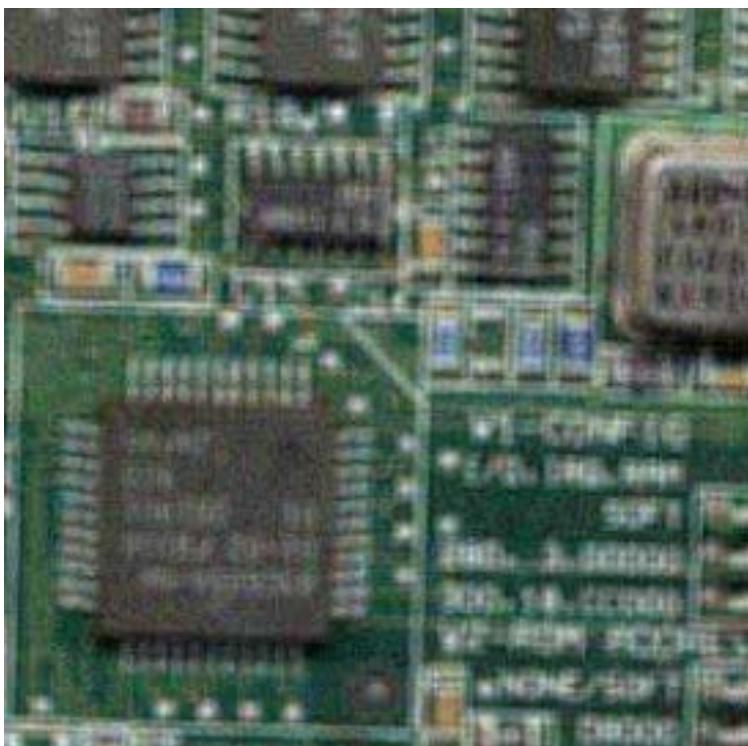


harmonized image

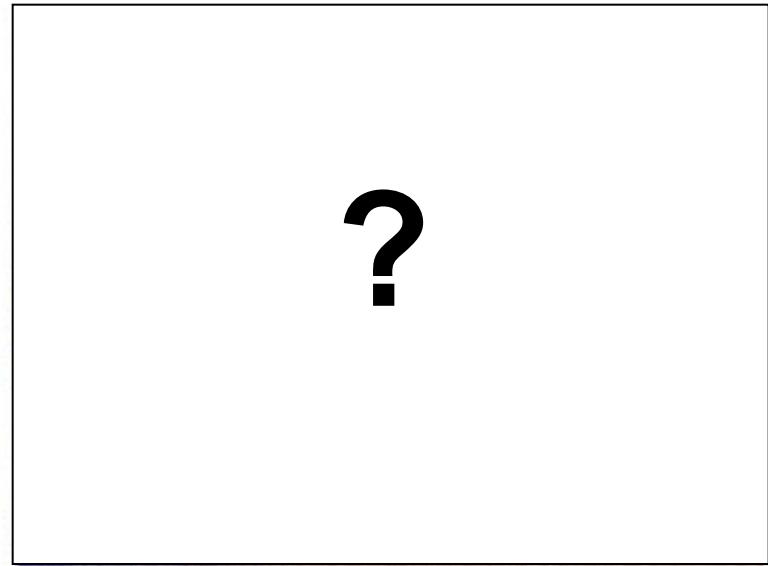
# Denoising



# Deblurring



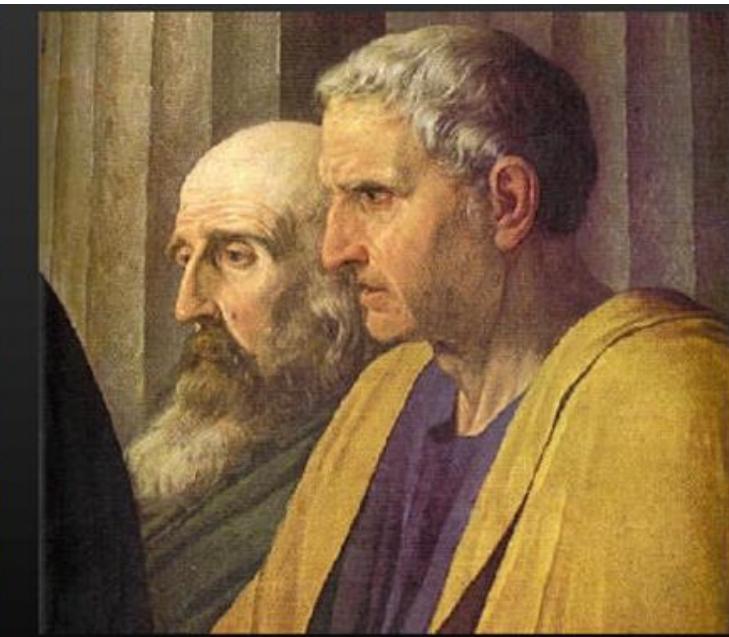
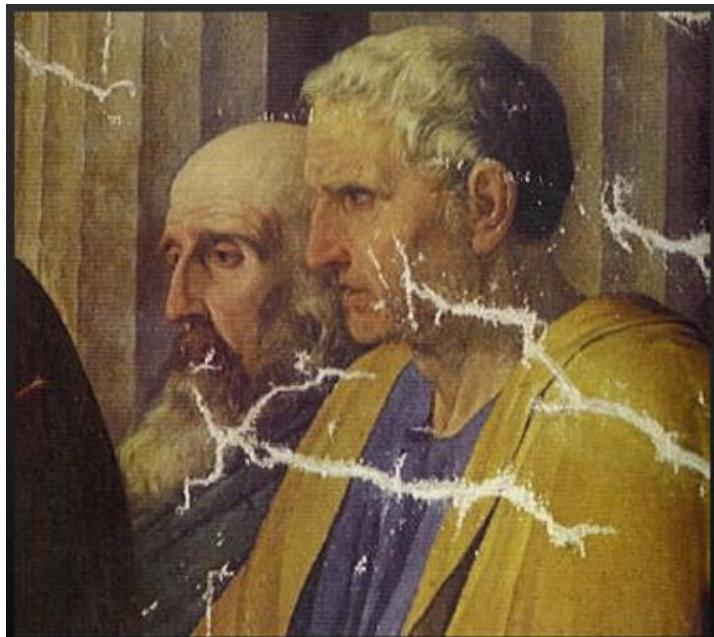
# Image Analogies



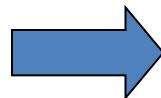
# Inpainting



Since 1699, when French explorers landed at the great bend of the Mississippi River and celebrated the first Mardi Gras in North America, New Orleans has brewed a fascinating mélange of cultures. It was French, then Spanish, then French again, then sold to the United States. Through all these years, and even into the 1900s, others arrived from everywhere: Acadians (Cajuns), Africans, indige-



# Object Removal



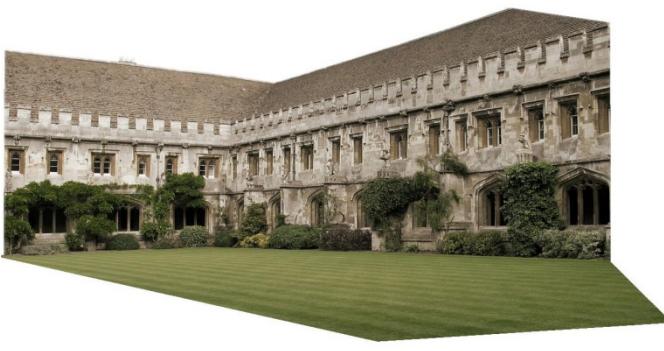
# Image Morphing



# Matting



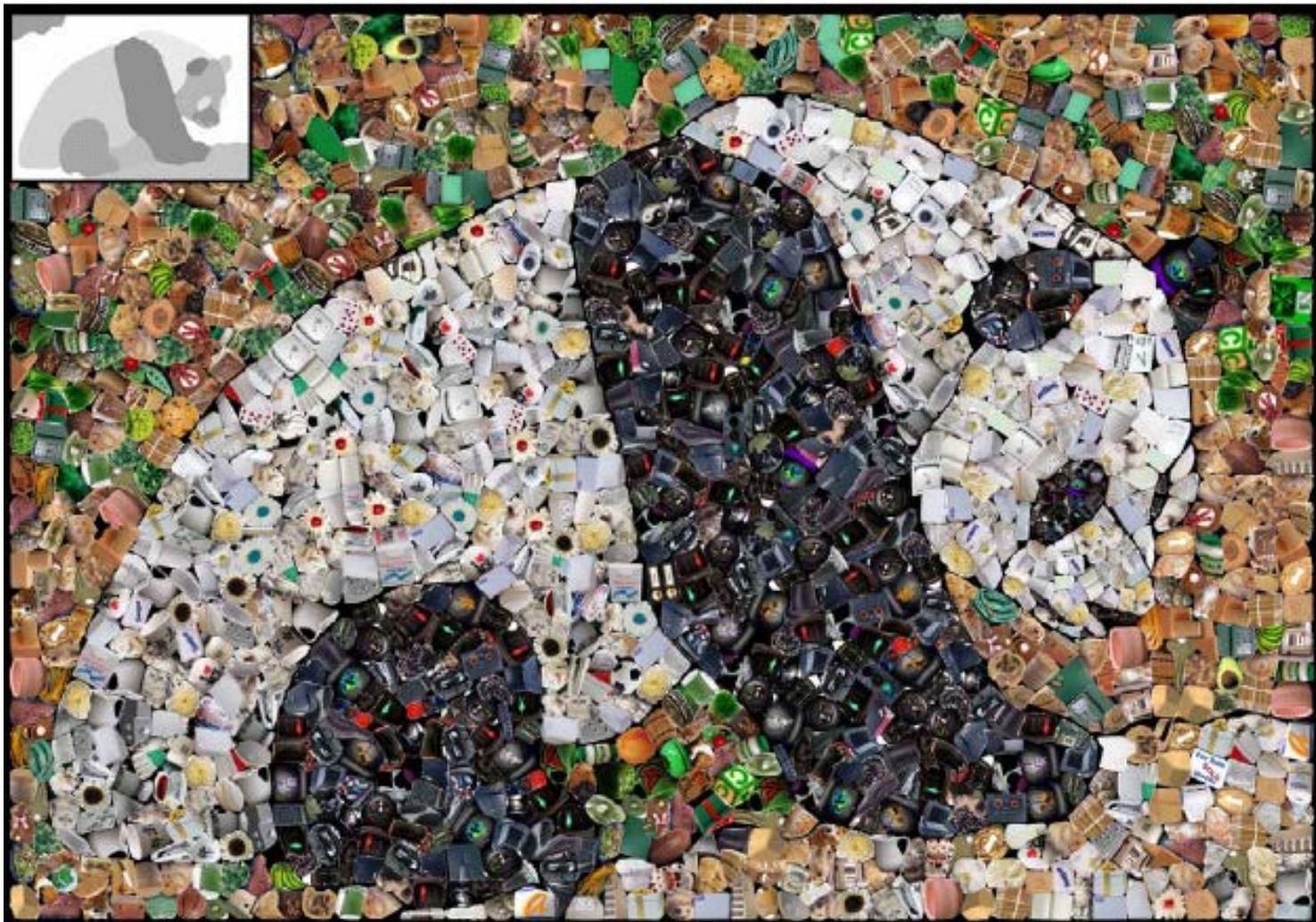
# Tour Into Picture



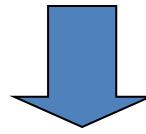
Input

Output

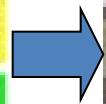
# Mosaic



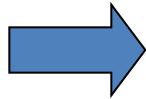
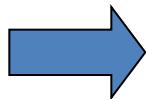
# Panorama



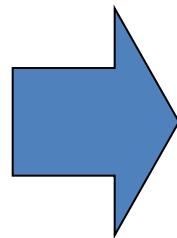
# Photomontage



# Shake Removing



# Exposure Synthesis



output image

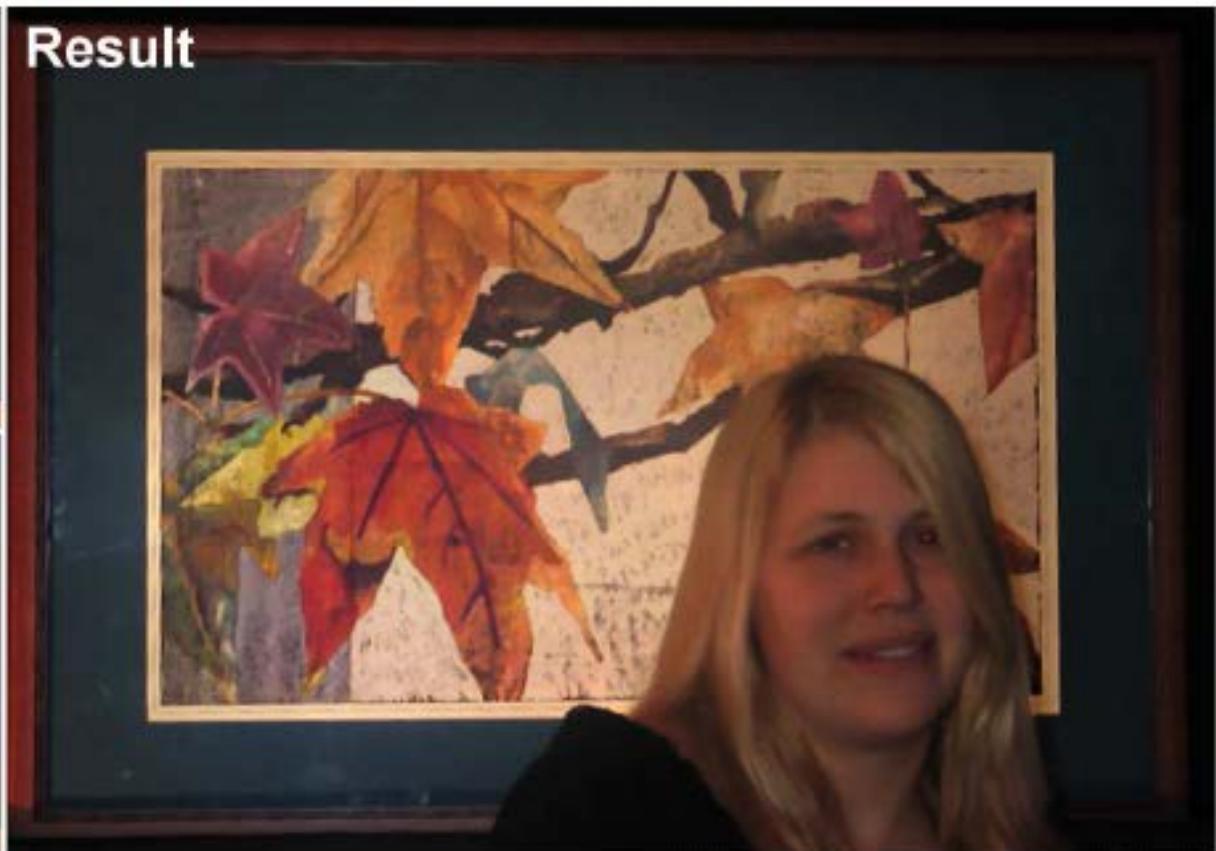
input image

# Flash Synthesis

Ambient



Result



Flash





No-flash



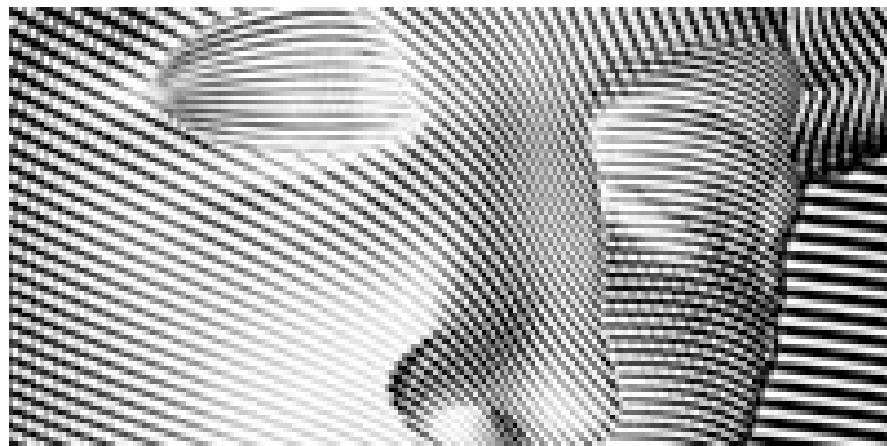
Flash



# Photo Collage



# Nonphotorealistic Rendering (NPR)

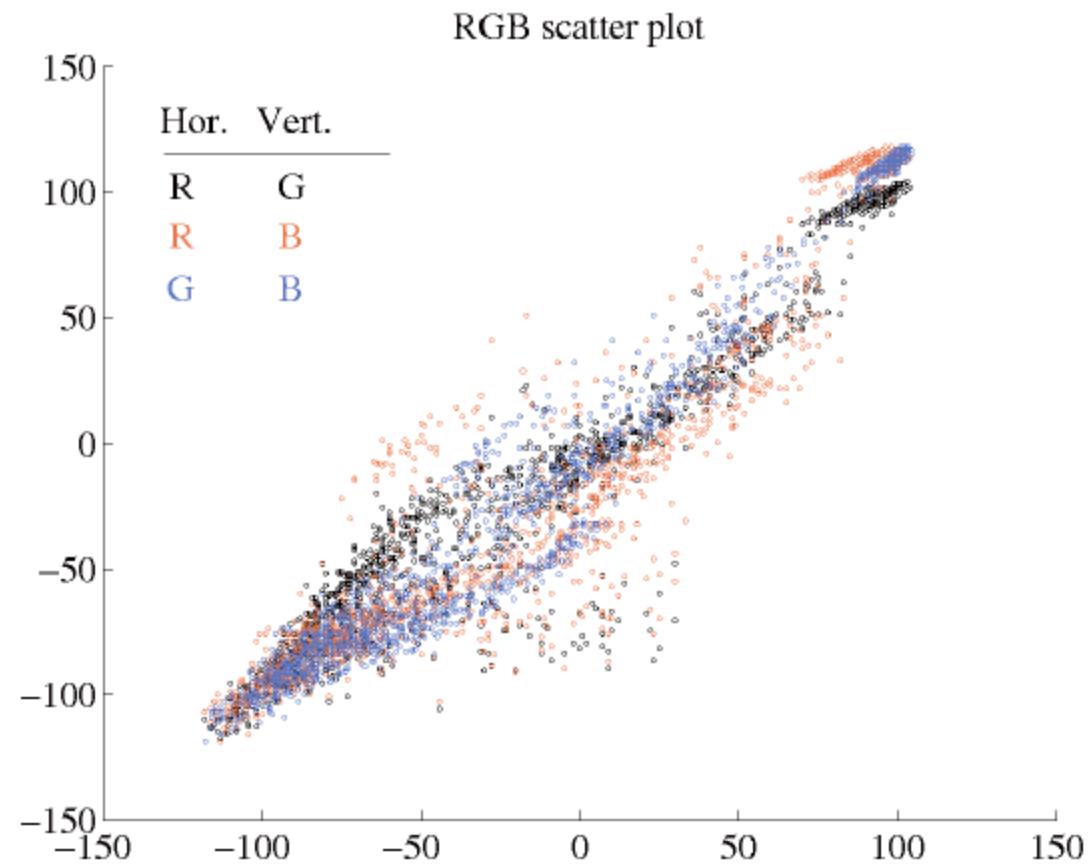


# More...

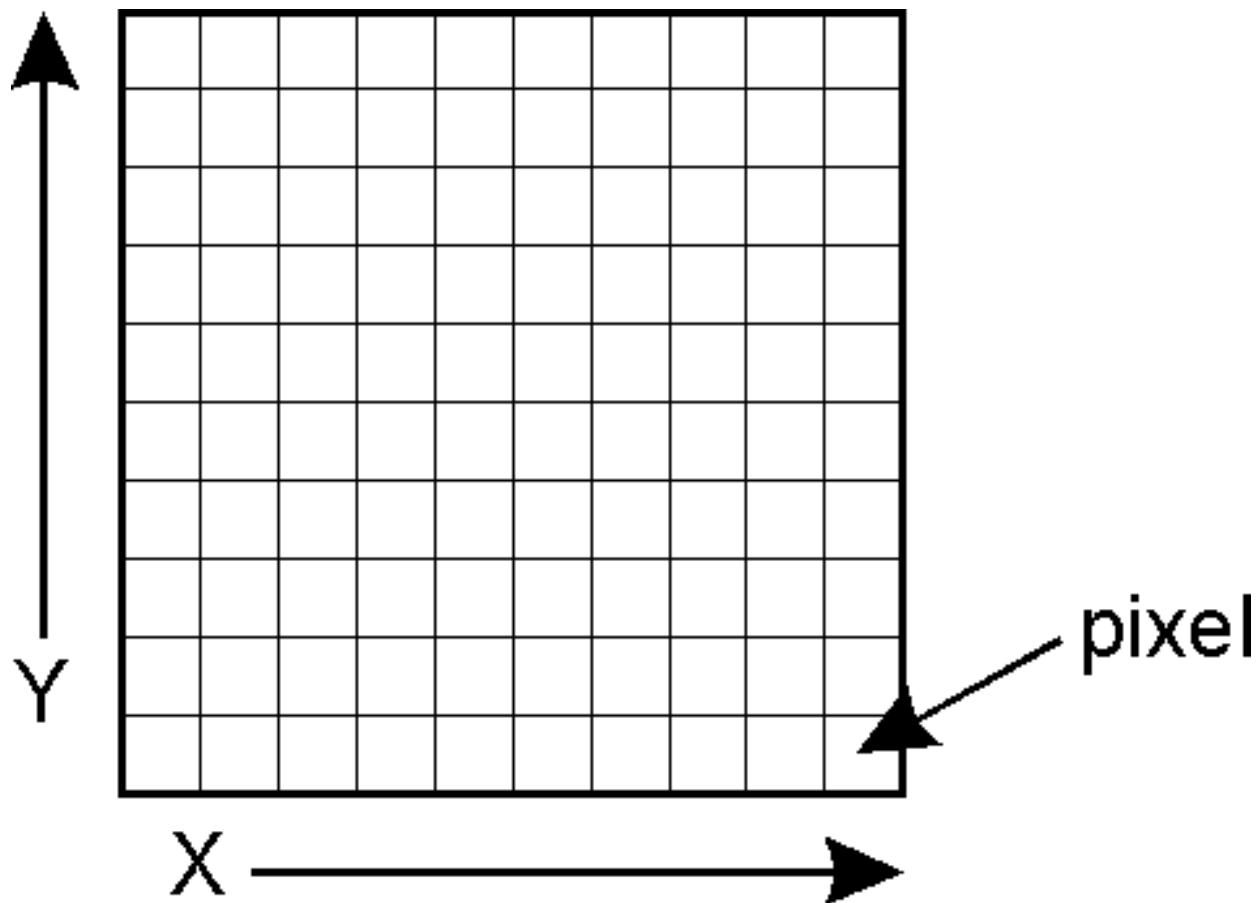
- Image compression
- Image retrieval
- Image registration
- Image based modeling

从不同的数学角度来看图像

# 1. 图像是一个点集(point cloud)



## 2. 图像是一个矩阵(matrix)



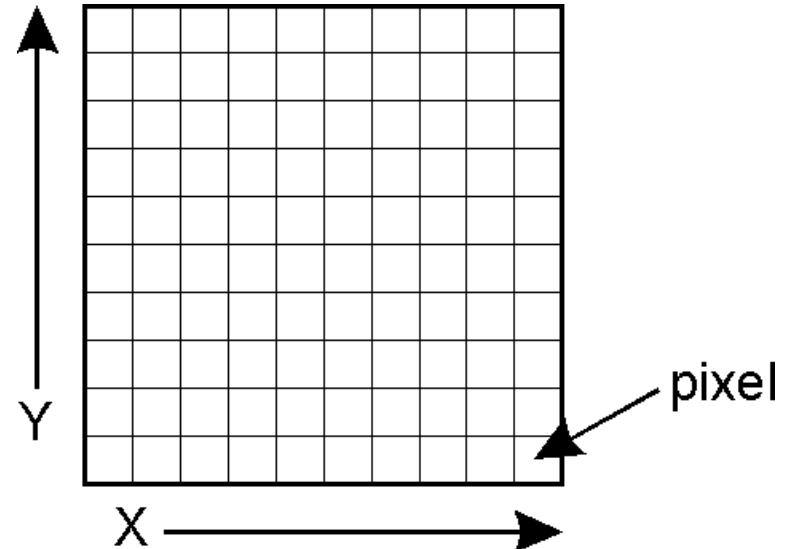
### 3. 图像是一个函数(function)

- 2D区域上的向量值函数

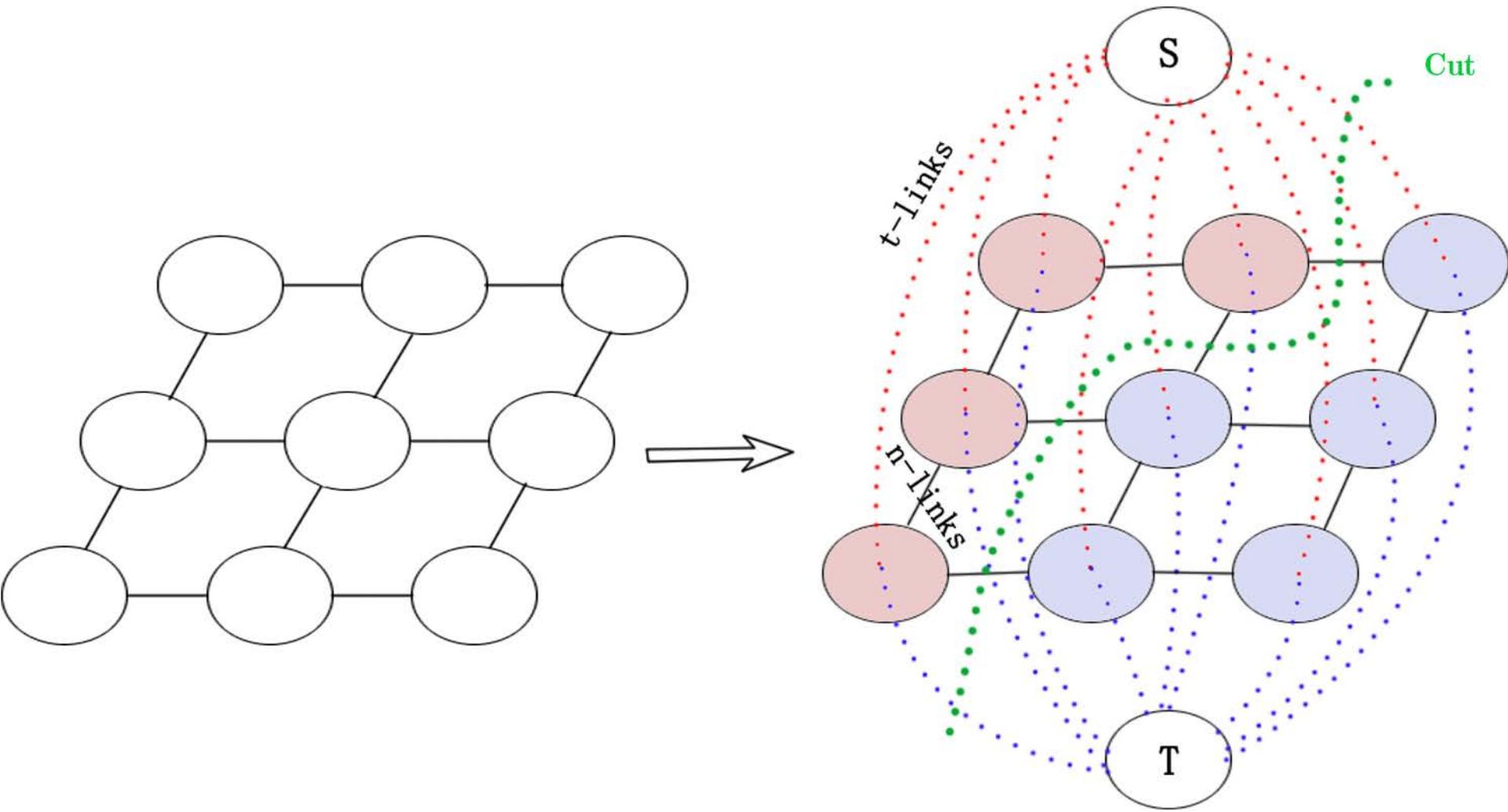
$$I = I(x, y)$$

Discrete sampling

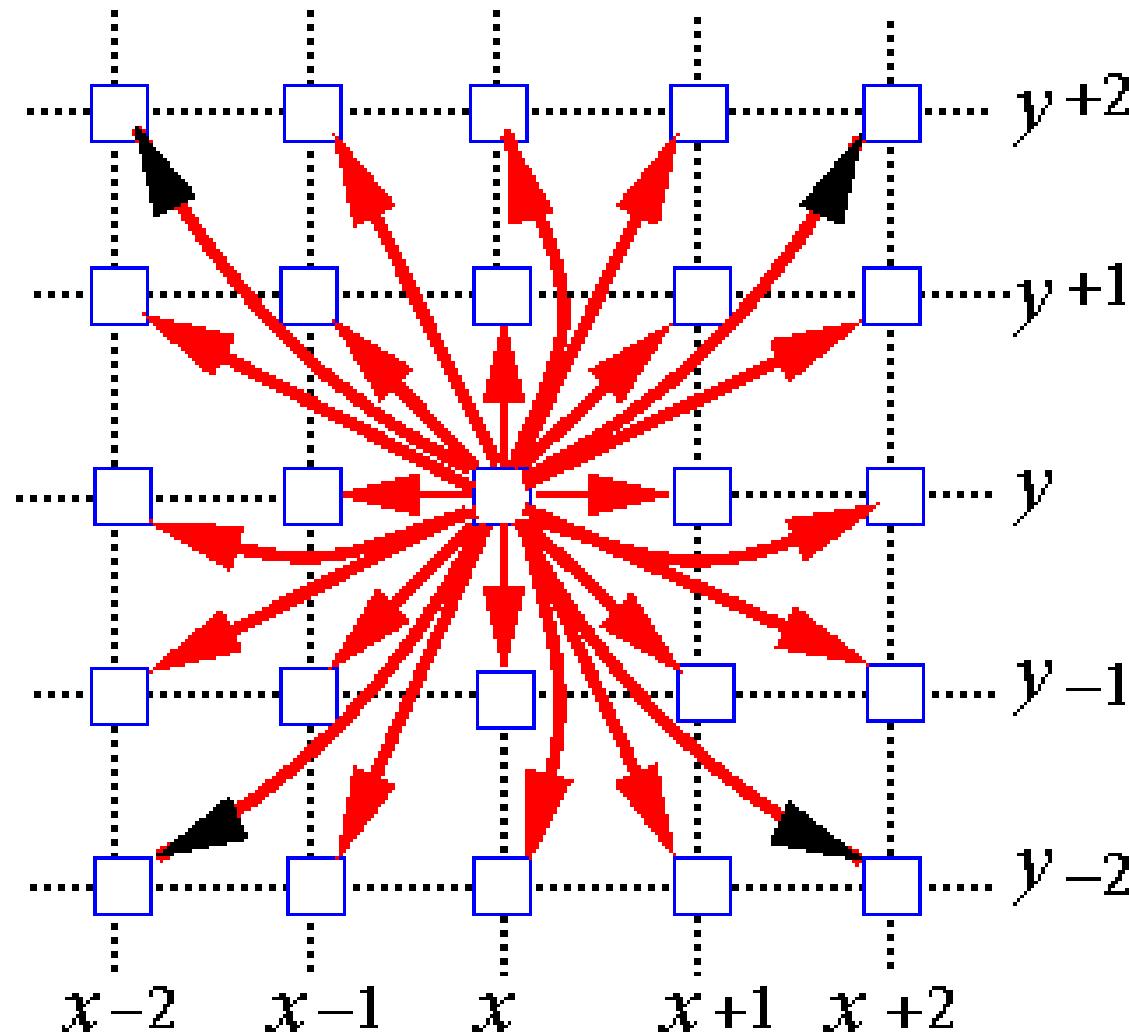
$$I = f(i, j)$$



# 4. 图像是一个图(Graph)



## 5. 图像是一个马尔可夫随机场 (Markov Random Field)



**从其他视角看图像？**

# Image Programming

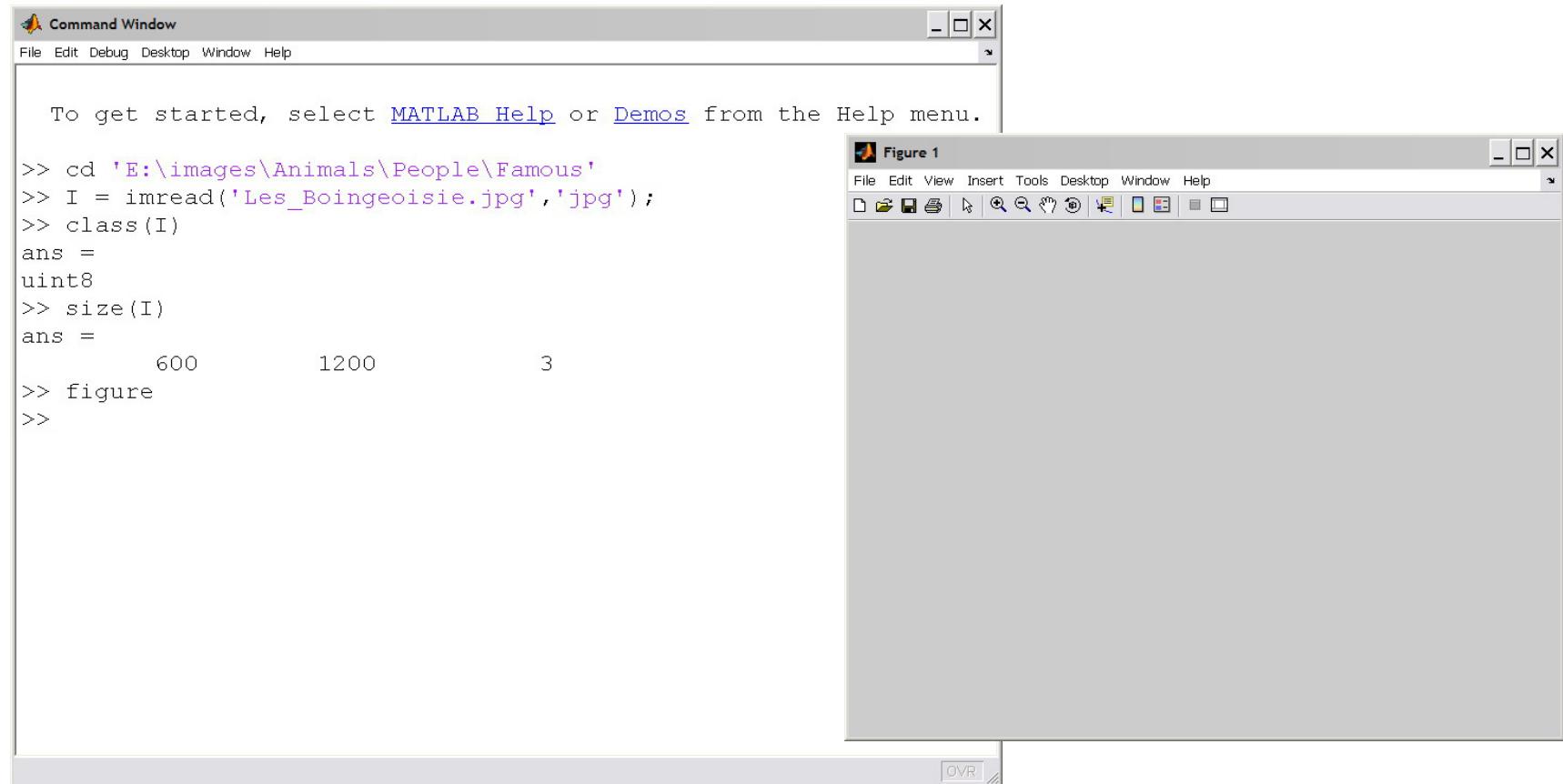
# 图像的数据结构

- class CImage
- {
- public:
- int GetWidth();
- int Get Height();
- CColor GetPixelAt(int x, int y);
- void SetPixelAt(int x, int y, CColor c);
- };

# 图像编程

- C/C++
- QT
- OpenCV (Open Computer Vision)
- Matlab
- Matlab与C++混合编程

# Read a Truecolor Image into Matlab



# Read a Truecolor Image into Matlab

To get started, select [MATLAB Help](#) or [Demos](#) from the Help menu.

```
>> cd 'E:\images\Animals\People\Famous'  
>> I = imread('Les_Boingeoisie.jpg','jpg');  
>> class(I)  
ans =  
uint8  
>> size(I)  
ans =  
      600       1200         3  
>> figure  
>> image(I)  
>> title('Les Boingeoisie: The Boing-Boing Bloggers')  
>> xlabel('Photo: Bart Nagel, 2006, www.bartnagel.com')  
>>
```

**Figure 1**

File Edit View Insert Tools Desktop Window Help

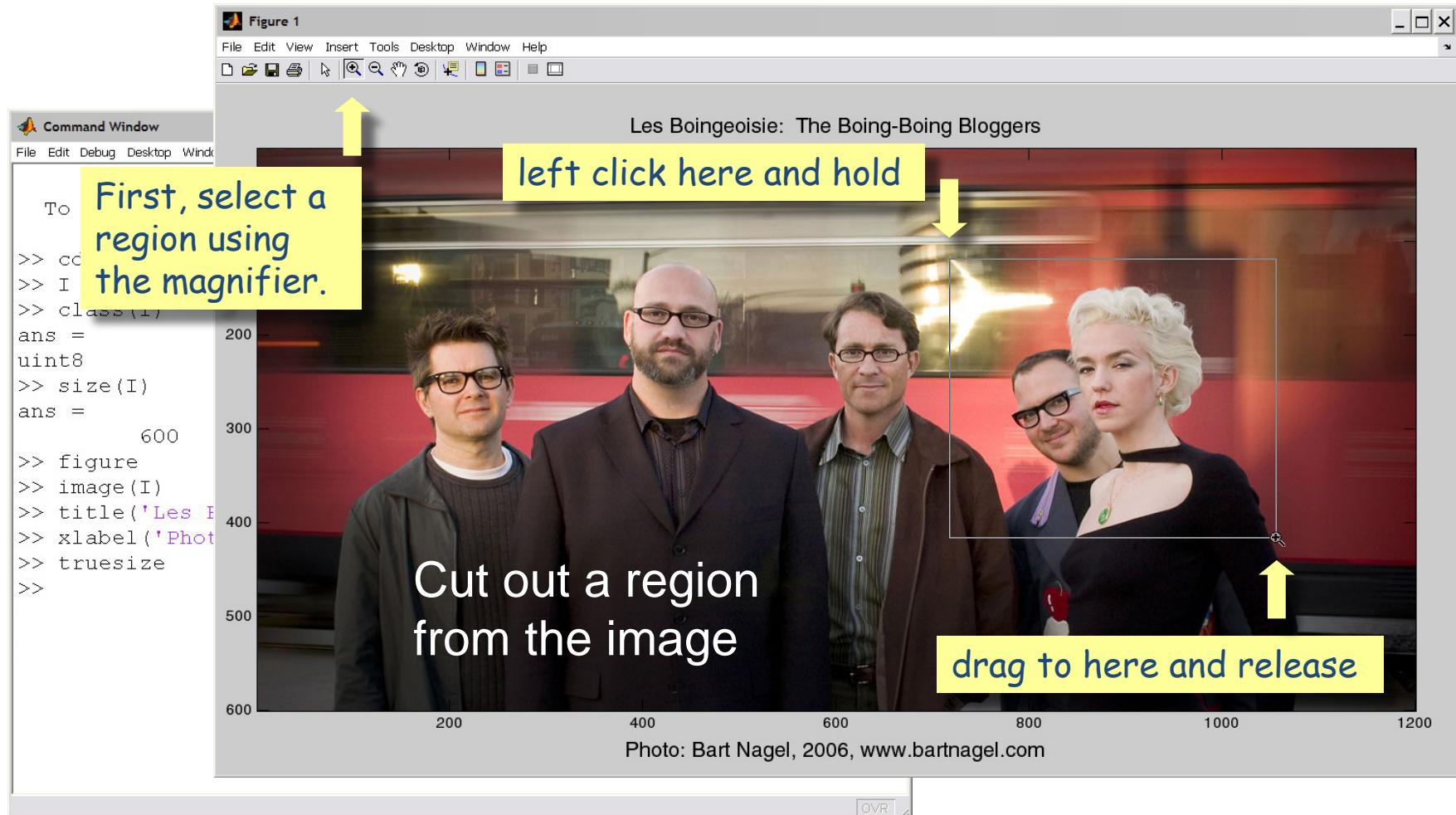
Les Boingeoisie: The Boing-Boing Bloggers

Photo: Bart Nagel, 2006, www.bartnagel.com

# Read a Truecolor Image into Matlab



# Crop the Image



# 图像处理软件

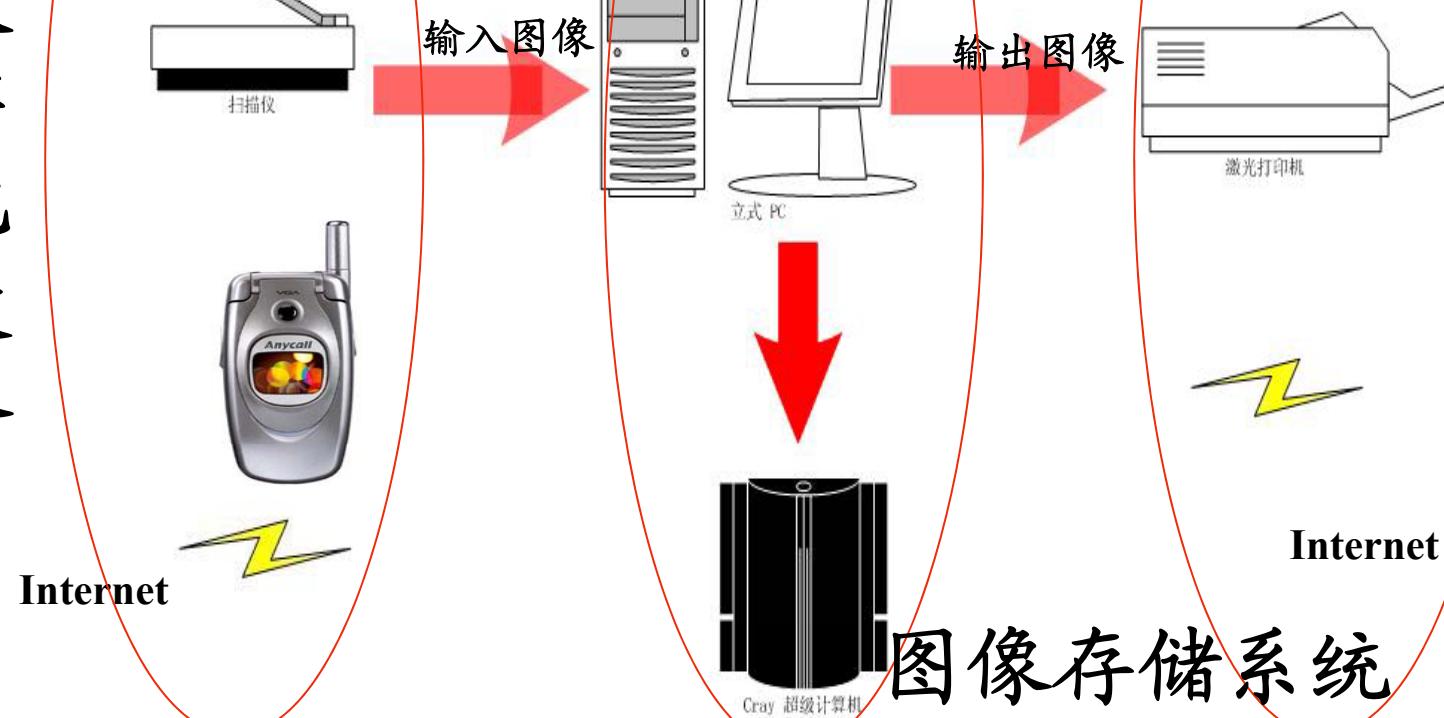
- Photoshop (PS)
- CorelDraw
- Picasa
- 美图秀秀
- 光影魔术手
- ...

# 图像处理系统的基本组成结构

图像数字化设备

图像处理计算机

图像输出设备



# 图像处理系统的基本组成结构

---

- 主要由三大部分组成
  - ✓ 图像数字化设备，包括数码相机、数码摄像机、带照相和/或摄像功能的手机等
  - ✓ 图像处理设备，包括计算机和存储系统
  - ✓ 图像输出设备，包括打印机，也可以输出到Internet上的其它设备

# 图像存储系统

## 图像文件格式体系

互联网用：GIF、JPG

印 刷 用：TIF、JPG、TAG 、PCX

国际标准：TIF、JPG、BMP

## 图像存储体系：分级存储

内存存储：处理时使用

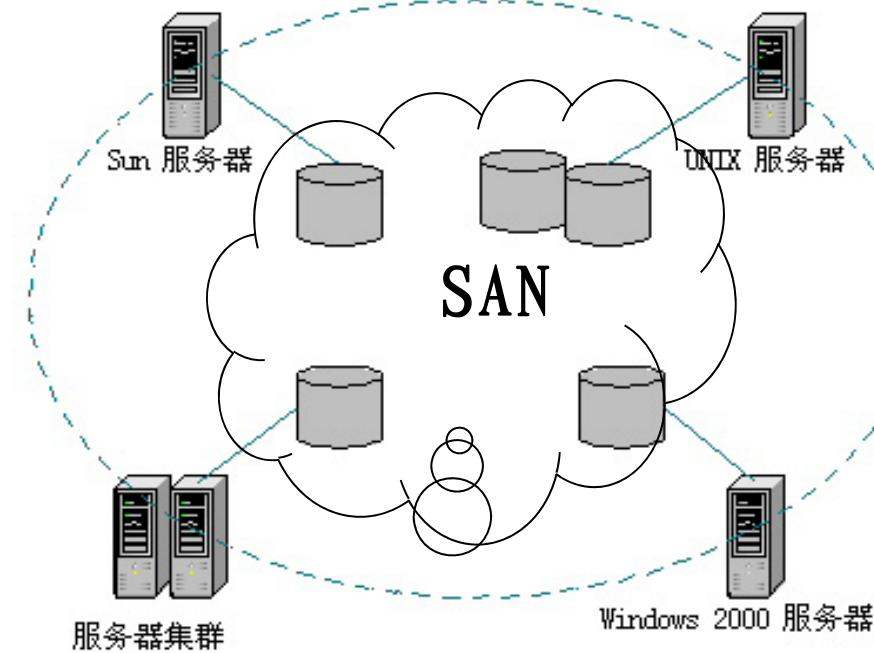
硬盘存储：处理、备份时用（在线）

备份存储：光盘、磁带（离线、近线）

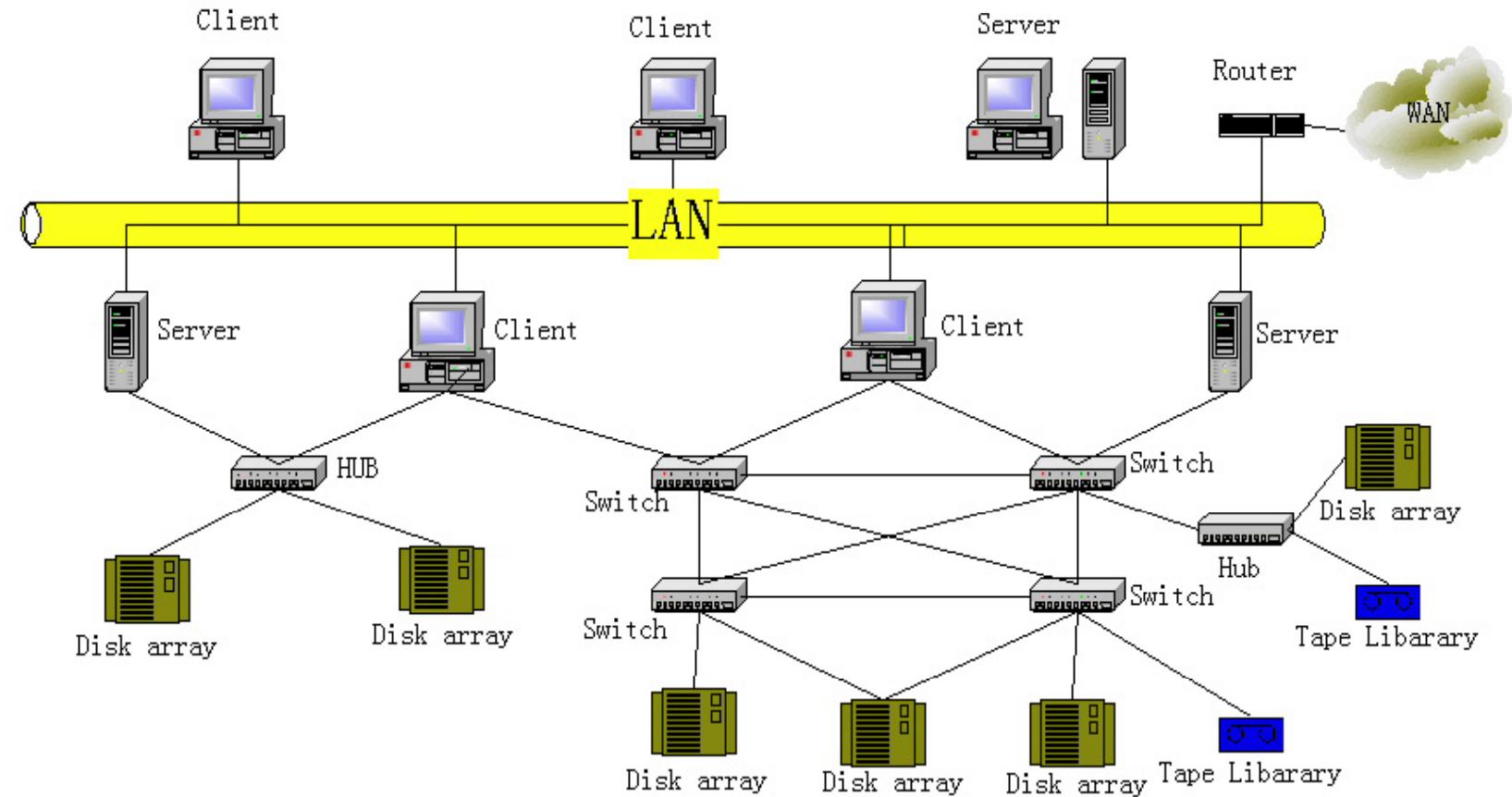
网络存储：SAN、NAS

# 为什么要用SAN

存储区域网SAN(Storage Area Network)



# SAN是什么？



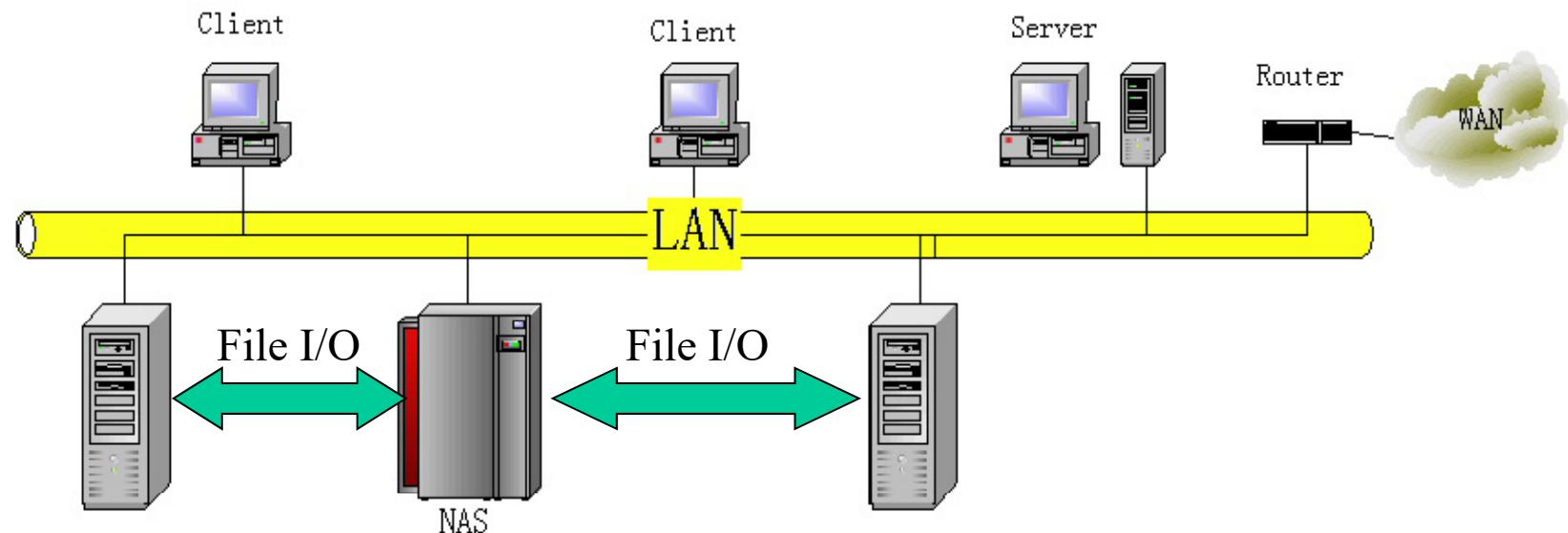
## SAN是什么？（续）

---

- 不是client/server, 而是client/storage devices
- 独立于LAN之外的高速存储网络
- 一般采用高速的光纤通道作为传输媒体（2Gbit/s）
- 将存储设备通过光通道互连设备构成一个存储子网
- 支持服务器和存储设备之间任意到任意的连接
- SAN上的任何一台服务器均可存取网络中的任何一个存储设备
- 对网上的存储资源实施集中统一的管理

# NAS (Network Attached Storage) 是什么？

是优化的文件服务器，存储设备与服务器均直接连接到LAN上，使用TCP/IP等LAN协议，通过LAN实现数据交换和存储管理。由于使用网络协议，因而会有速度和延时的问题，且系统扩展能力受到网络带宽的限制。



## SAN与NAS比较

SAN	NAS
块级共享	文件级共享
远程存储访问	远程文件访问
存储专用网	共享LAN
存储协议 (如FCP)	网络协议(如TCP/IP)
集中式管理	分散式管理
无限的扩展能力	有限的扩展能力
更高的连接速度和处理能力	较低的连接速度和处理能力

# 数字图像处理基础

---

- 图像的采样和量化
- 数字图像的表示
- 数字图像的质量
- 像素间的一些基本关系

邻域处理方法是图像增强和复原过程的核心

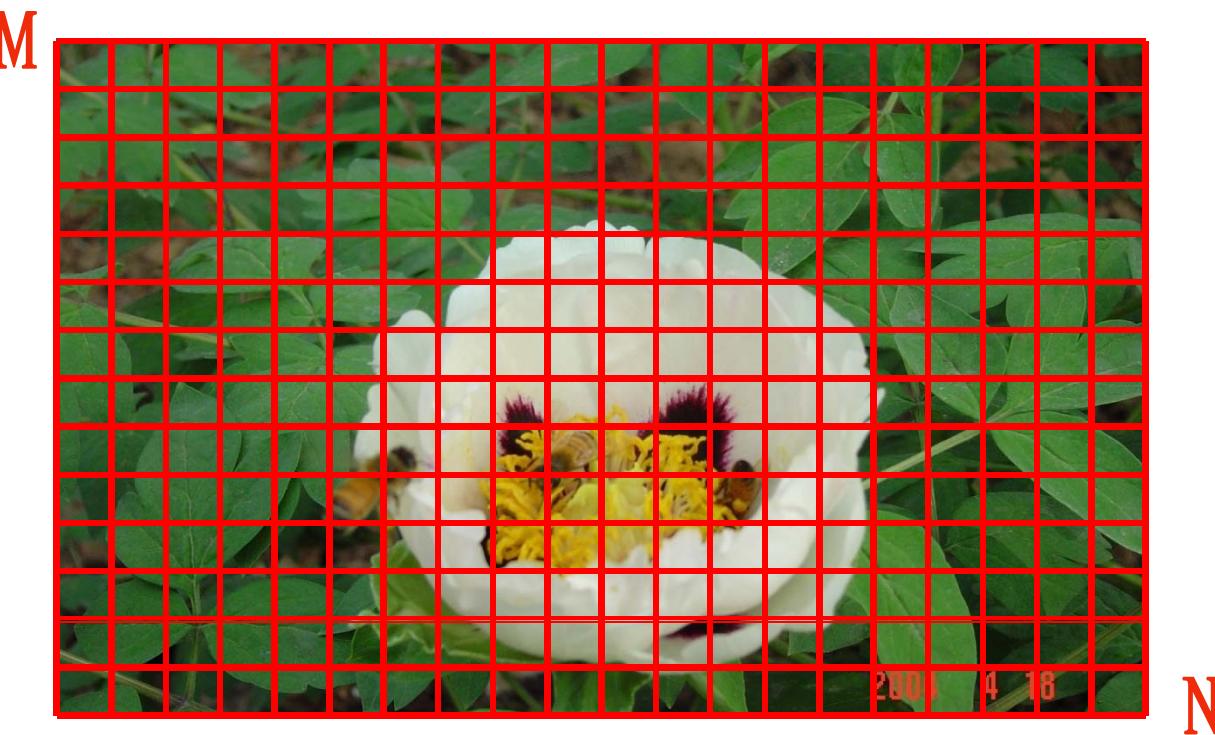
# 图像的采样和量化

---

- 大多数传感器的输出是连续电压波形
- 为了产生一幅数字图像，需要把连续的感知数据转化为数字形式
- 这包括两种处理：取样和量化
- 取样：图像空间坐标的数字化
- 量化：图像函数值（灰度值）的数字化

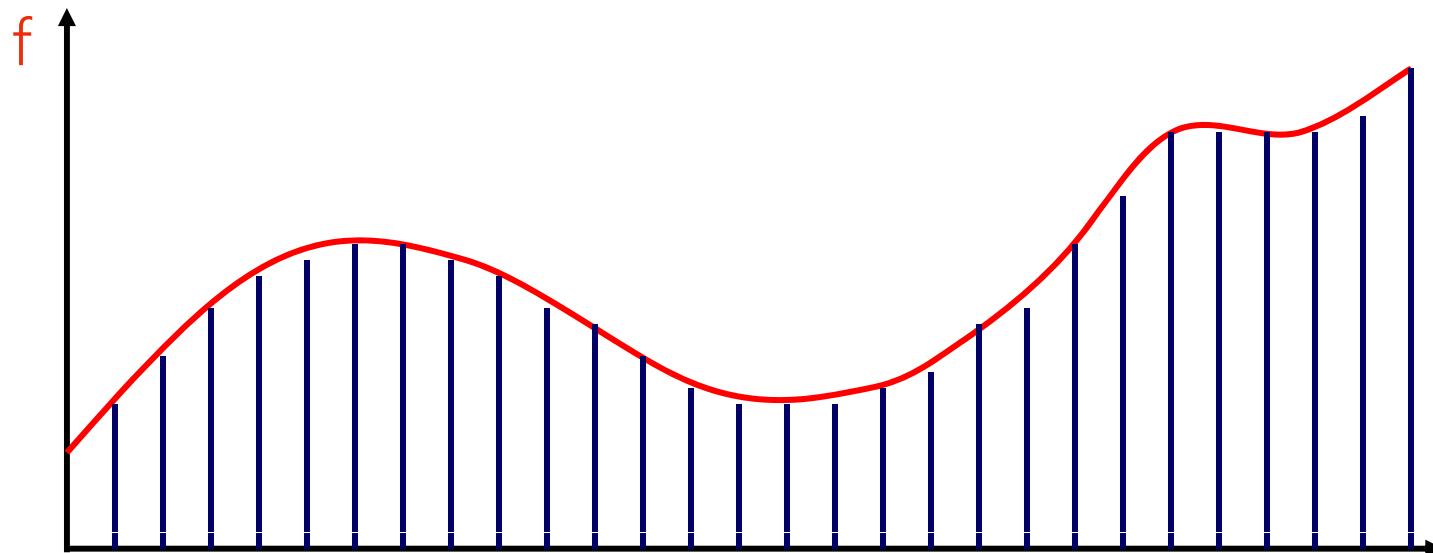
# 图像采样

- 空间坐标  $(x, y)$  的数字化被称为图像采样
- 确定水平和垂直方向上的像素个数  $N$ 、 $M$



# 图像的量化

- 函数取值的数字化被称为图像的量化，如量化到256个灰度级



# 图像的采样与数字图像的质量



1024



512



256



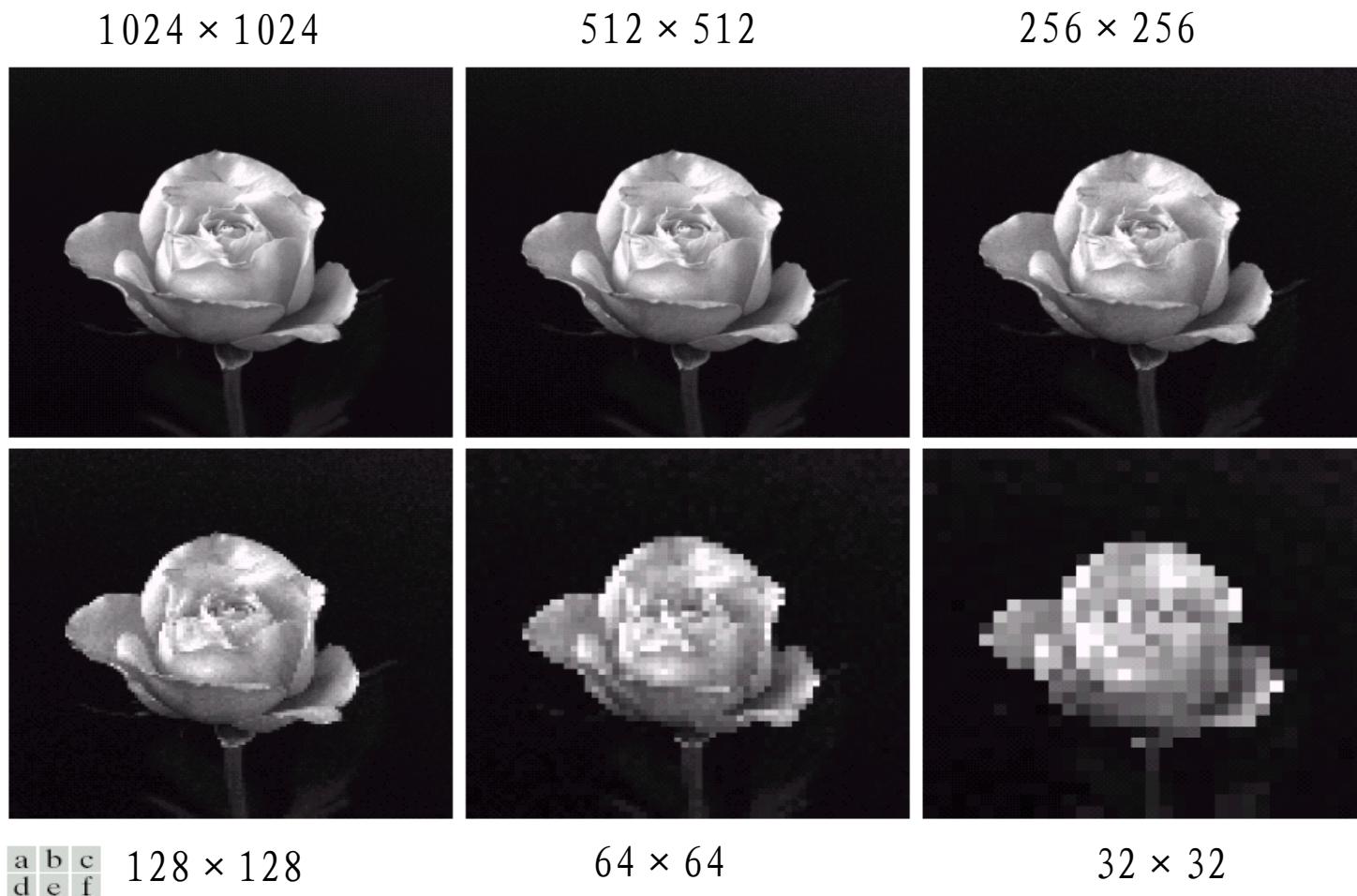
128



32

**FIGURE 2.19** A  $1024 \times 1024$ , 8-bit image subsampled down to size  $32 \times 32$  pixels. The number of allowable gray levels was kept at 256.

# 图像的采样与数字图像的质量



**FIGURE 2.20** (a)  $1024 \times 1024$ , 8-bit image. (b)  $512 \times 512$  image resampled into  $1024 \times 1024$  pixels by row and column duplication. (c) through (f)  $256 \times 256$ ,  $128 \times 128$ ,  $64 \times 64$ , and  $32 \times 32$  images resampled into  $1024 \times 1024$  pixels.

# 图像的采样与数字图像的质量



265x180



133x90



66x45



33x22

# 图像的量化与数字图像的质量



256灰度级



16灰度级



8灰度级

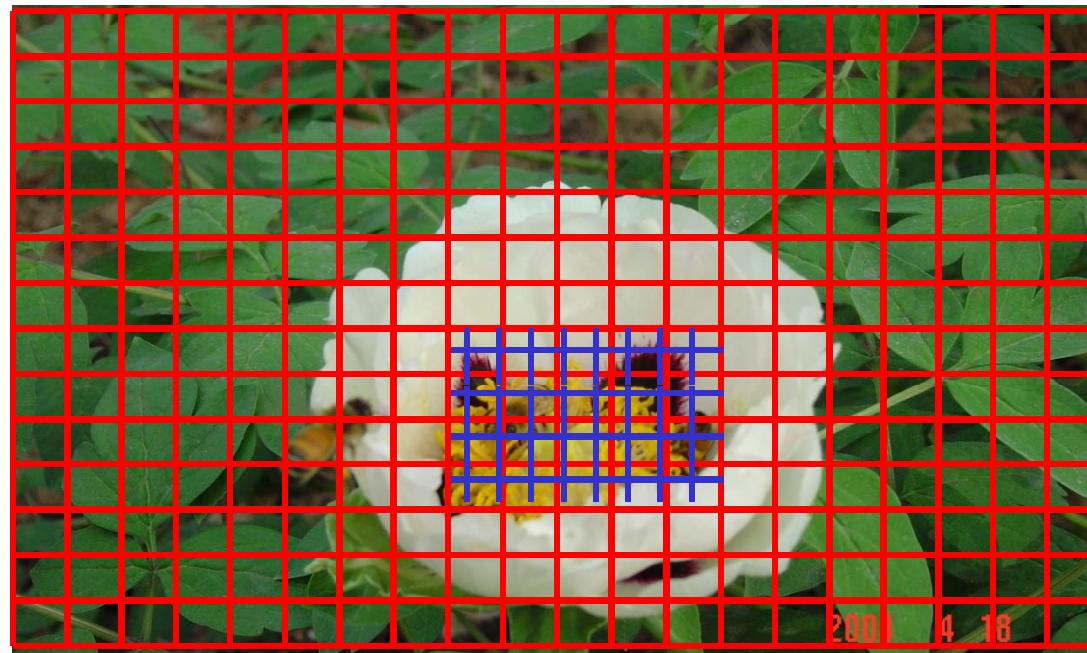


4灰度级

# 图像的采样和量化

- 非统一的图像的采样

- ✓ 在灰度级变化尖锐的区域，用细腻的采样，在灰度级比较平滑的区域，用粗糙的采样



## 图像的采样和量化

---

- 非统一的图像的量化

- ✓ 在边界附近使用较少的灰度级。剩余的灰度级可用于灰度级变化比较平滑的区域
- ✓ 避免或减少由于量化的太粗糙，在灰度级变化比较平滑的区域出现假轮廓的现象

# 数字图像处理基础

---

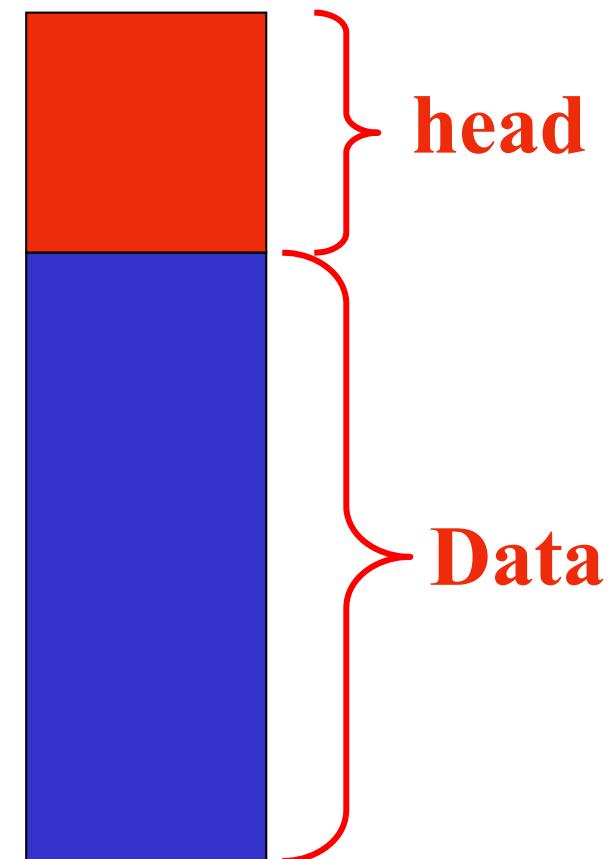
- 图像的采样和量化
- 数字图像的表示
- 数字图像的质量
- 像素间的一些基本关系

## 数字图像的表示

- 二维离散亮度函数—— $f(x, y)$ 
  - ✓  $x, y$ 说明图像像素的空间坐标
  - ✓ 函数值  $f$  代表了在点  $(x, y)$  处像素的灰度值
- 二维矩阵—— $A[m, n]$ 
  - ✓  $m, n$ 说明图像的宽和高。
  - ✓ 矩阵元素  $a(i, j)$  的值，表示图像在第  $i$  行，第  $j$  列的像素的灰度值； $i, j$  表示几何位置

# 数字图像的表示

- 图像描述信息
  - ✓ 如图像高度和宽度等信息
- 图像数据
  - ✓ 顺序存放的连续数据
- BMP格式
  1. 位图文件头
  2. 位图信息头
  3. 调色板
  4. 图像数据



# BMP格式——1、位图文件头

---

```
typedef struct tagBITMAPFILEHEADER {  
    WORD    bfType;           //文件类型，必须是字符串”BM”  
    DWORD   bfSize;          //指定文件大小  
    WORD    bfReserved1;      //保留字，不考虑  
    WORD    bfReserved2;      //保留字，不考虑  
    DWORD   bfOffBits;        //从文件头到位图数据的偏移字节数  
} BITMAPFILEHEADER;
```

## BMP格式——2、位图信息头

```
typedef struct tagBITMAPINFOHEADER {  
    DWORD biSize;           //该结构的长度，40个字节  
    LONG biWidth;           //图像的宽度，单位是像素  
    LONG biHeight;          //图像的高度，单位是像素  
    WORD biPlanes;          //必须是1  
    WORD biBitCount;         //颜色位数，如1, 4, 8, 24  
    DWORD biCompression;     //压缩类型，如BI_RGB, BI_RLE4  
    DWORD biSizeImage;       //实际位图数据占用的字节数  
    LONG biXPelsPerMeter;    //水平分辨率  
    LONG biYPelsPerMeter;    //垂直分辨率  
    DWORD biClrUsed;         //实际使用的颜色数  
    DWORD biClrImportant;    //重要的颜色数  
} BITMAPINFOHEADER;
```

## BMP格式——3、调色板

```
typedef struct tagRGBQUAD {  
    BYTE    rgbBlue;           //该颜色的蓝色分量  
    BYTE    rgbGreen;          //该颜色的绿色分量  
    BYTE    rgbRed;            //该颜色的红色分量  
    BYTE    rgbReserved;       //保留值，不考虑  
} RGBQUAD;
```

注：有些位图不需要调色板，如真彩色图，它们的BITMAPINFOHEADER后面直接是位图数据

## BMP格式——4、实际的图像数据

---

- 对于2色位图，1位表示一个像素颜色，所以一个字节表示8个像素
- 对于16色位图，4位表示一个像素颜色，所以一个字节表示2个像素
- 对于256色位图，1个字节表示1个像素
- 对于真彩色图，3个字节表示一个像素

# 数字图像处理基础

---

- 图像的采样和量化
- 数字图像的表示
- 数字图像的质量
- 像素间的一些基本关系

## 图像的质量：1、层次

- 灰度级：表示像素明暗程度的整数量  
例如：像素的取值范围为0-255，就称该图像为256个灰度级的图像
- 层 次：表示图像实际拥有的灰度级的数量  
例如：具有32种不同取值的图像，可称该图像具有32个层次

图像数据的实际层次越多，视觉效果就越好

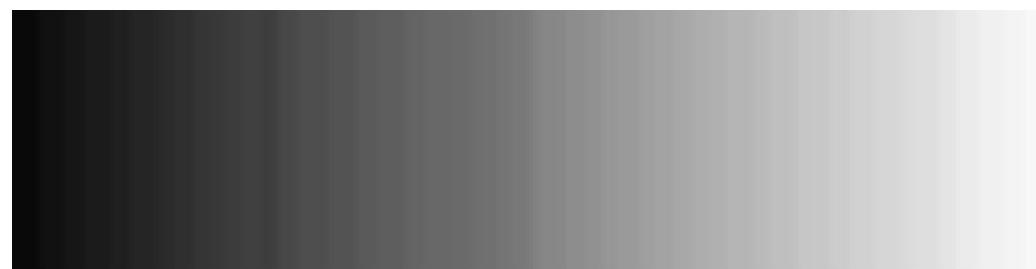
# 图像的质量：1、层次

---

256个层次的图像



64个层次的图像



16个层次的图像



## 图像的质量：2、对比度

- 对比度：是指一幅图像中灰度反差的大小  
$$\text{对比度} = \frac{\text{最大亮度}}{\text{最小亮度}}$$



## 图像的质量：3、清晰度

---

- 与清晰度相关的主要因素
  - ✓ 亮度
  - ✓ 对比度
  - ✓ 尺寸大小
  - ✓ 细微层次
  - ✓ 颜色饱和度

# 影响清晰度因素——1、亮度

原图



降低亮度



## 影响清晰度因素——2、对比度

原图



降低对比度



## 影响清晰度因素——3、尺寸大小

原图



缩小尺寸



## 影响清晰度因素——4、细微层次

原图



相当于降低灰度等级

减少细微层次



## 影响清晰度因素——5、颜色饱和度

原图



鲜艳程度

降低颜色饱和度



# 数字图像处理基础

---

- 图像的采样和量化
- 数字图像的表示
- 数字图像的质量
- 像素间的一些基本关系

# 像素间的一些基本关系

- 相邻像素：

- ✓ 4邻域

- ✓ D邻域

- ✓ 8邻域

- 连通性

- ✓ 4连通

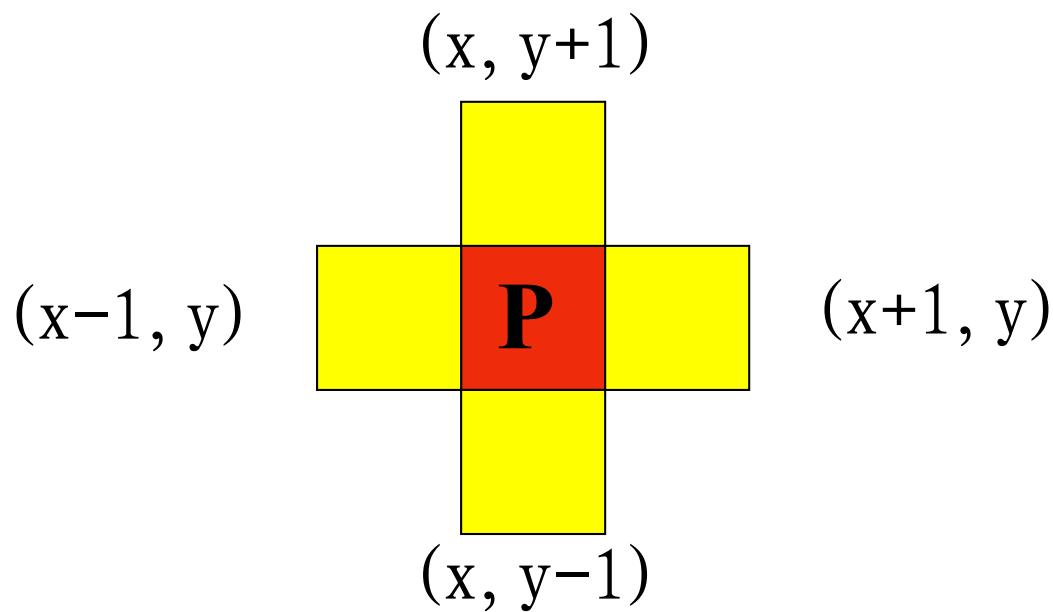
- ✓ 8连通

- ✓ m连通

- 距离

## 相邻像素——4邻域

- 4邻域：像素  $p(x, y)$  的4邻域是：  
 $(x+1, y)$  ;  $(x-1, y)$  ;  $(x, y+1)$  ;  $(x, y-1)$
- 用  $N_4(p)$  表示像素  $p$  的4邻域

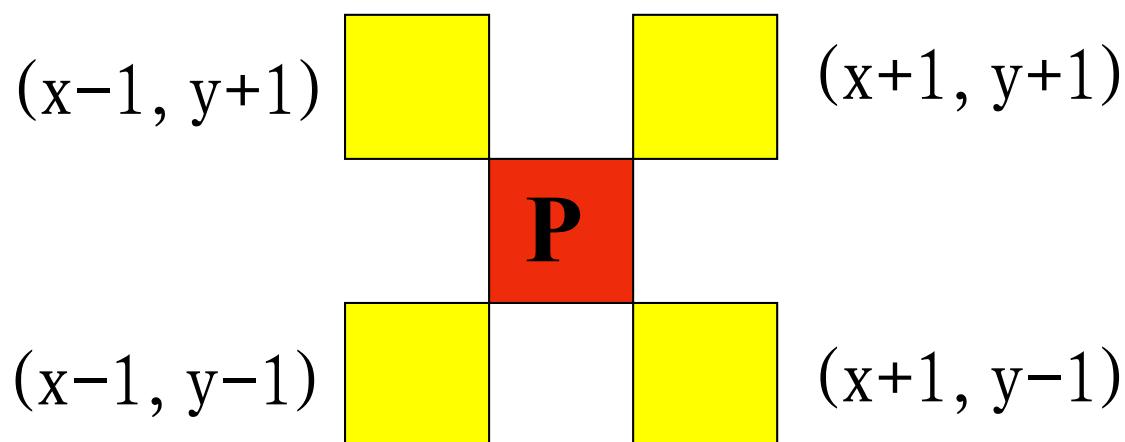


## 相邻像素——D邻域

- D邻域定义：像素  $p(x, y)$  的D邻域是：

对角上的点  $(x+1, y+1)$ ;  $(x+1, y-1)$ ;  $(x-1, y+1)$ ;  $(x-1, y-1)$

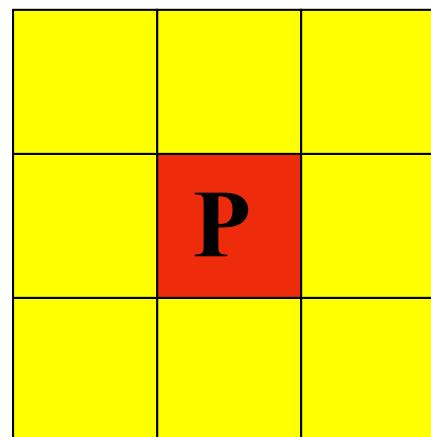
- 用  $N_D(p)$  表示像素  $p$  的D邻域



## 相邻像素——8邻域

- 8邻域定义：像素  $p(x, y)$  的8邻域是：  
4邻域的点 + D邻域的点
- 用  $N_8(p)$  表示像素  $p$  的8邻域。

$$N_8(p) = N_4(p) + N_D(p)$$

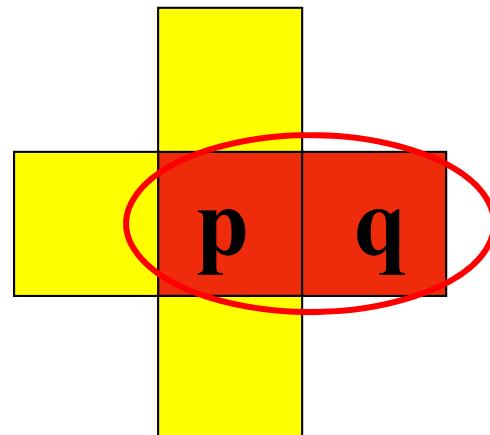


## 像素间的连通性

- 连通性是描述区域和边界的重要概念
- 两个像素连通的两个必要条件是：
  - ✓ 两个像素的位置是否相邻
  - ✓ 两个像素的灰度值是否满足特定的相似性准则（或者是否相等）
- 4连通、8连通、m连通的定义

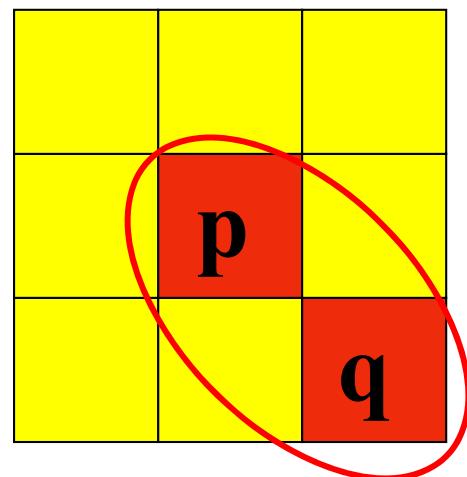
## 像素的连通性——4连通

- 对于具有值V的像素p和q，如果q在集合 $N_4(p)$ 中，则称这两个像素是4连通的



## 像素的连通性——8连通

- 对于具有值V的像素p和q，如果q在集合 $N_8(p)$ 中，则称这两个像素是8连通的

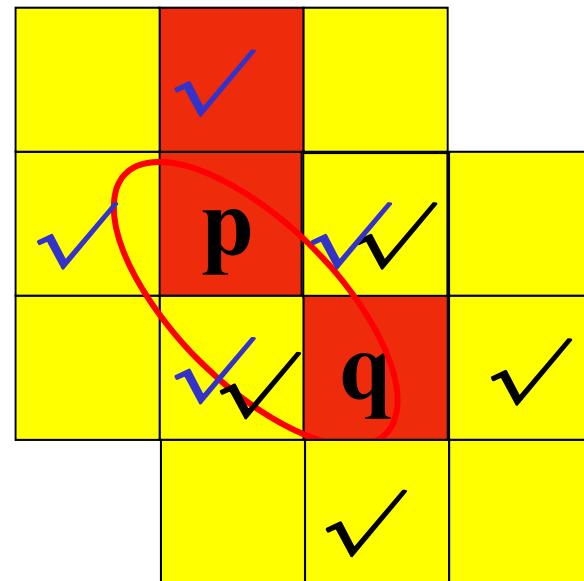


## 像素的连通性——m连通

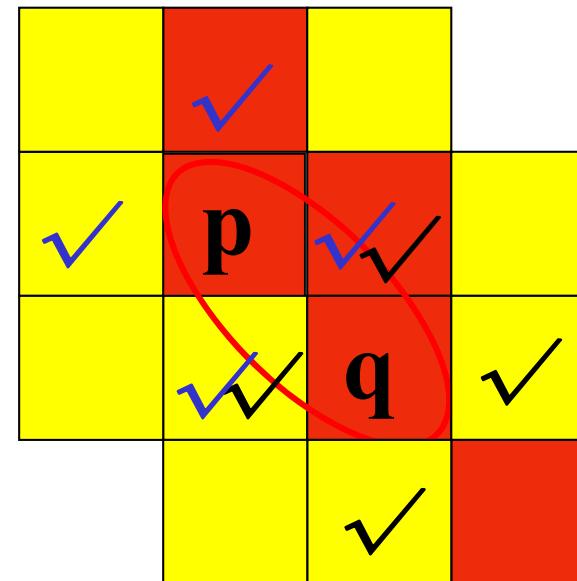
- 对于具有值V的像素p和q，如果：
    - I. q在集合 $N_4(p)$ 中，或
    - II. q在集合 $N_D(p)$ 中，并且 $N_4(p)$ 与 $N_4(q)$ 的交集为空（没有值V的像素）
- 则称这两个像素是m连通的，即4连通和D连通的混合连通。

# 像素的连通性——m连通

是m连通



不是m连通



## 像素的连通性——通路

- 通路的定义

一条从具有坐标  $(x, y)$  的像素  $p$ , 到具有坐标  $(s, t)$  的像素  $q$  的通路, 是具有坐标

$(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$  的不同像素的序列。其中,  $(x_0, y_0) = (x, y)$ ,  $(x_n, y_n) = (s, t)$ ,

$(x_i, y_i)$  和  $(x_{i-1}, y_{i-1})$  是邻接的,  $1 \leq i \leq n$ ,  $n$  是路径的长度。如果  $(x_0, y_0) = (x_n, y_n)$ , 则该通路是闭合通路

要求是连通的

## 像素的连通性——距离

---

- 像素之间距离的定义
- 欧氏距离定义
- $D_4$ 距离（城市距离）定义
- $D_8$ 距离（棋盘距离）定义

## 像素之间距离的定义

对于像素 $p$ 、 $q$ 和 $z$ ，分别具有坐标 $(x, y)$ ， $(s, t)$ 和 $(u, v)$ ，如果

(1)  $D(p, q) \geq 0$  ( $D(p, q) = 0$ , 当且仅当 $p = q$ ) ,

(2)  $D(p, q) = D(q, p)$

(3)  $D(p, z) \leq D(p, q) + D(q, z)$

则称 $D$ 是距离函数或度量

## 欧式距离定义

- 像素  $p(x, y)$  和  $q(s, t)$  间的欧式距离定义如下：

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

- 对于这个距离计算法，具有与  $(x, y)$  距离小于等于某个值  $r$  的像素是：包含在以  $(x, y)$  为圆心，以  $r$  为半径的圆平面

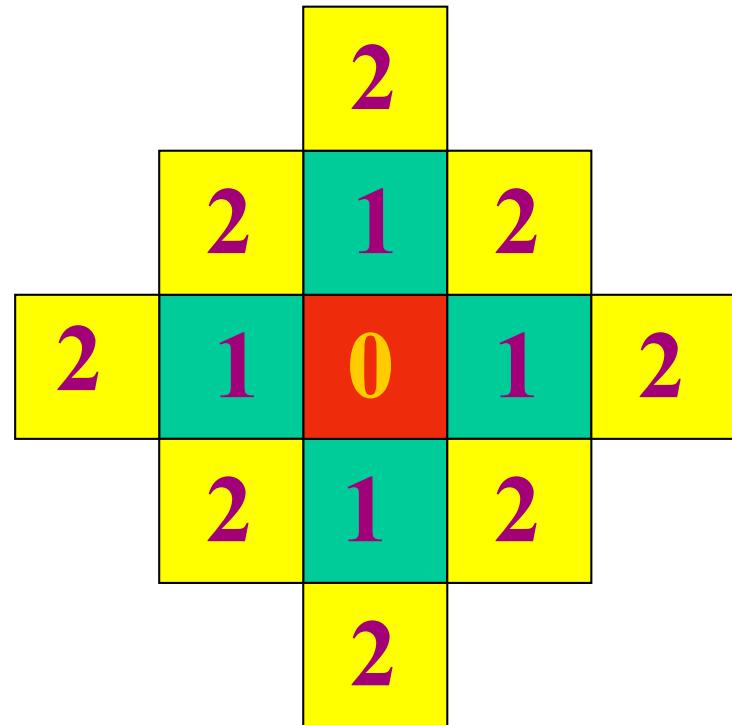
## D<sub>4</sub>距离（城市距离）

像素p(x, y)和q(s, t)之间的D<sub>4</sub>距离定义为：

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

## D<sub>4</sub>距离举例

- 具有与  $(x, y)$  距离小于等于某个值  $r$  的那些像素形成一个菱形
- 例如，与点  $(x, y)$  (中心点) D<sub>4</sub> 距离小于等于 2 的像素，形成右边固定距离的轮廓
- 具有  $D_4 = 1$  的像素是  $(x, y)$  的 4 邻域



## D<sub>8</sub>距离（棋盘距离）

像素p(x, y)和q(s, t)之间的D<sub>8</sub>距离  
定义为：

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

## D<sub>8</sub>距离举例

- 具有与  $(x, y)$  距离小于等于某个值  $r$  的那些像素形成一个正方形
- 例如，与点  $(x, y)$  (中心点) D<sub>8</sub> 距离小于等于 2 的像素，形成右边固定距离的轮廓
- 具有  $D_8 = 1$  的像素是  $(x, y)$  的 8 邻域

2	2	2	2	2
2	1	1	1	2
2	1	0	1	2
2	1	1	1	2
2	2	2	2	2

# 数字图像处理（1）

---

任何问题？