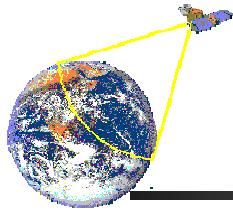


图像处理与分析

图像及其数字处理

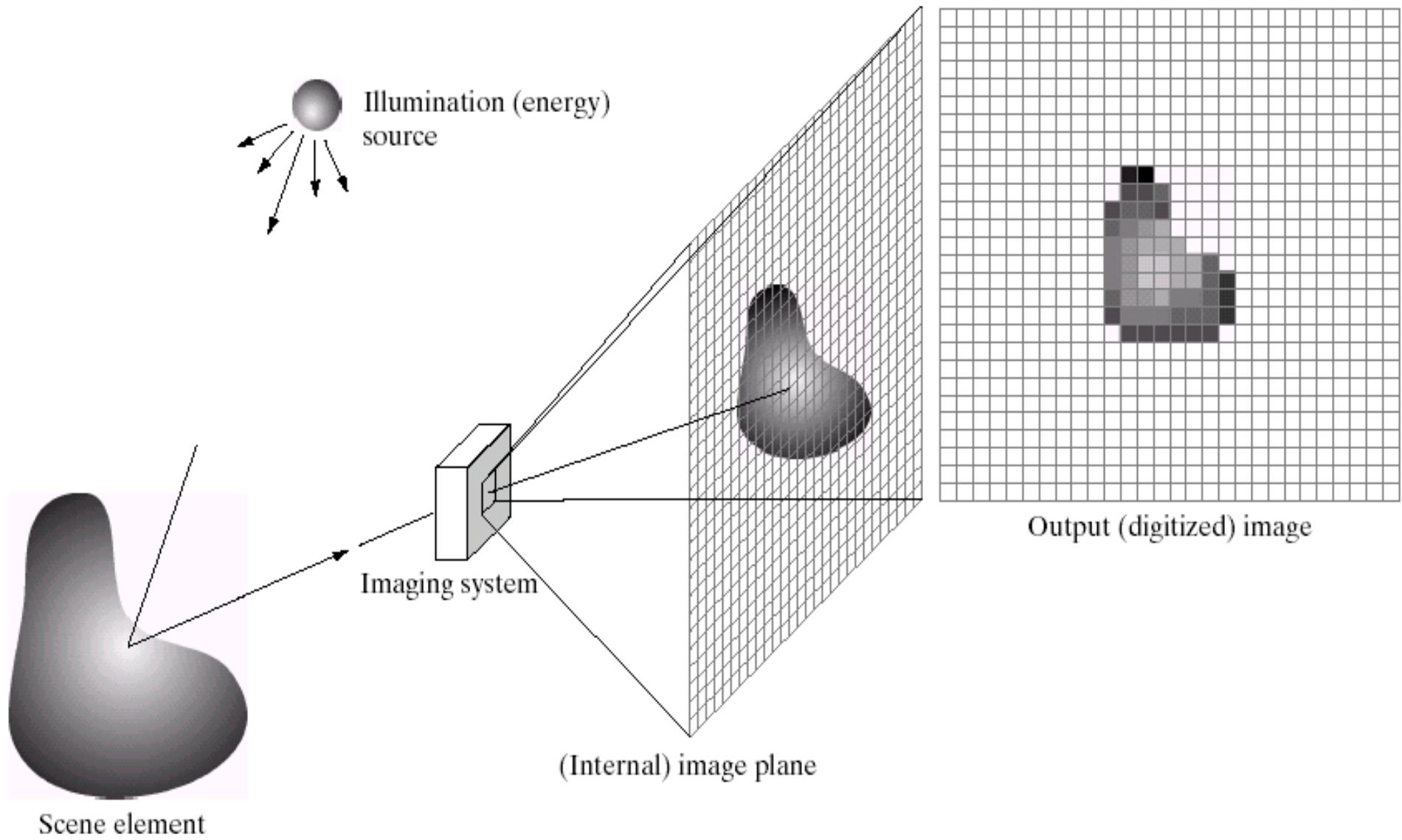


图像及其数字处理

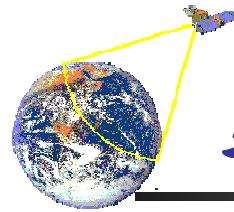
■ 基本概念

- 图像的表示
- 图像的质量
- 人类的视觉模型
- 图像的颜色
- 图像的描述

■ 图像的数字化



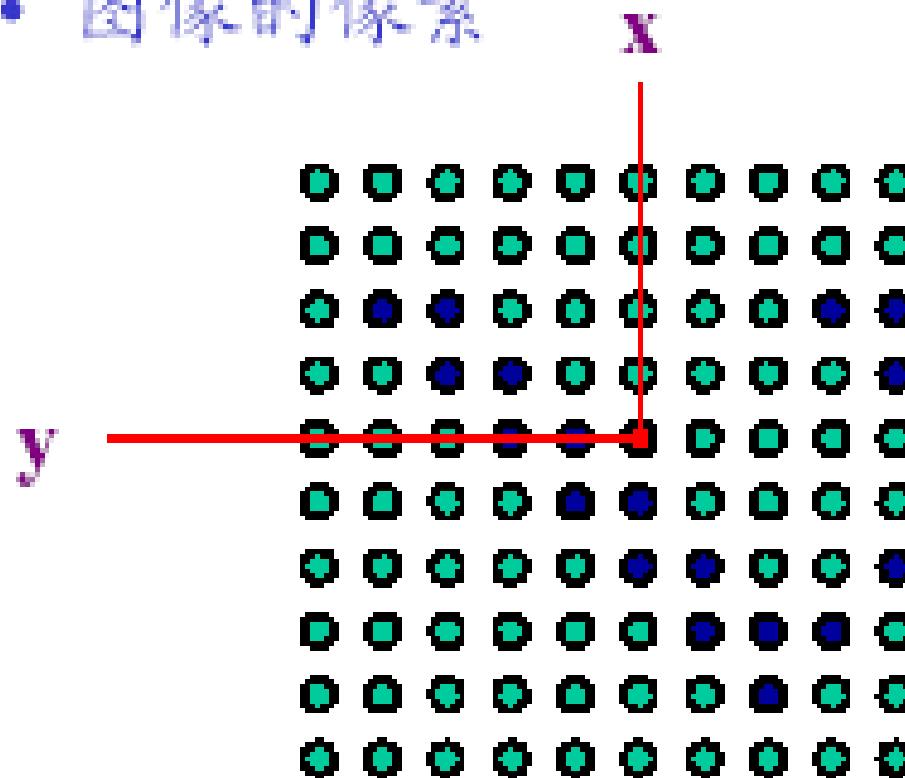
二维图像的成像过程

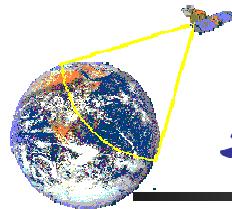


基本概念—图像的表示

- 数字图像的基本要素—像素

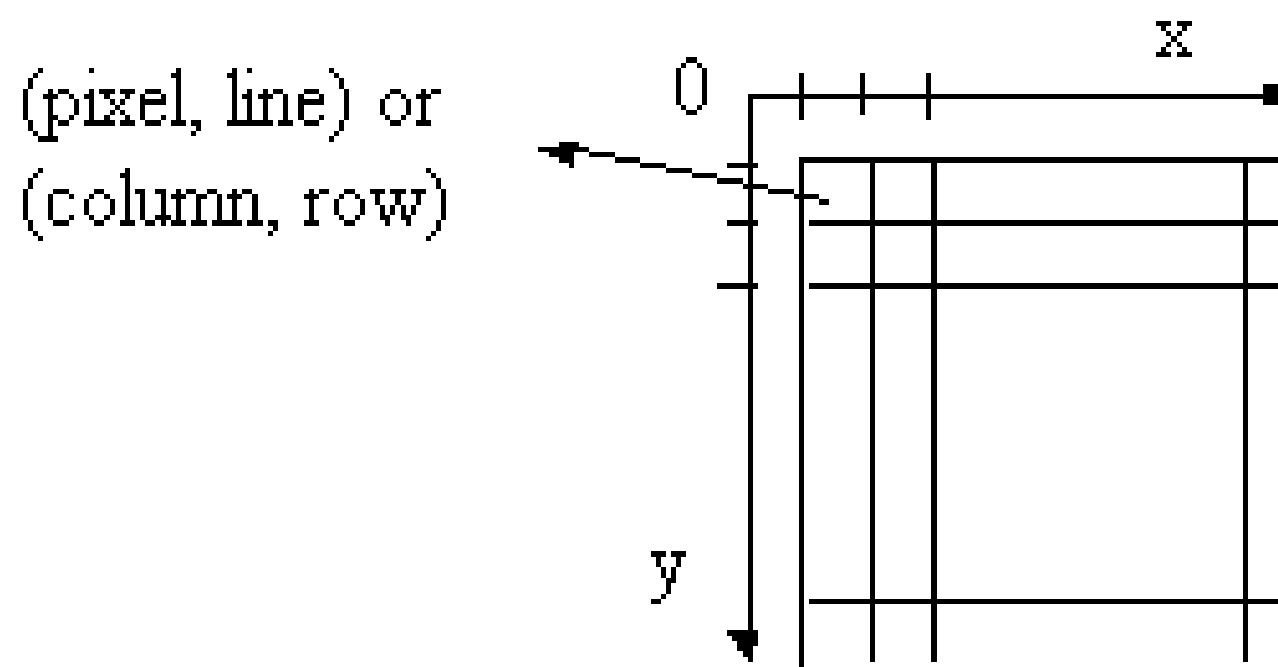
- 图像的像素

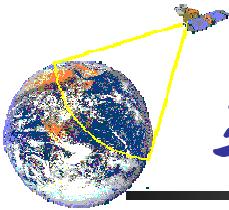




基本概念—图像的表示

- 数字图像的基本要素
 - 像素坐标系—对图像分布进行二维空间采样





基本概念—图像的表示

■ 数字图像的基本要素

- 像数值—对单个像素灰度值进行数字化采样

4 bits/pixel

6 bits/pixel

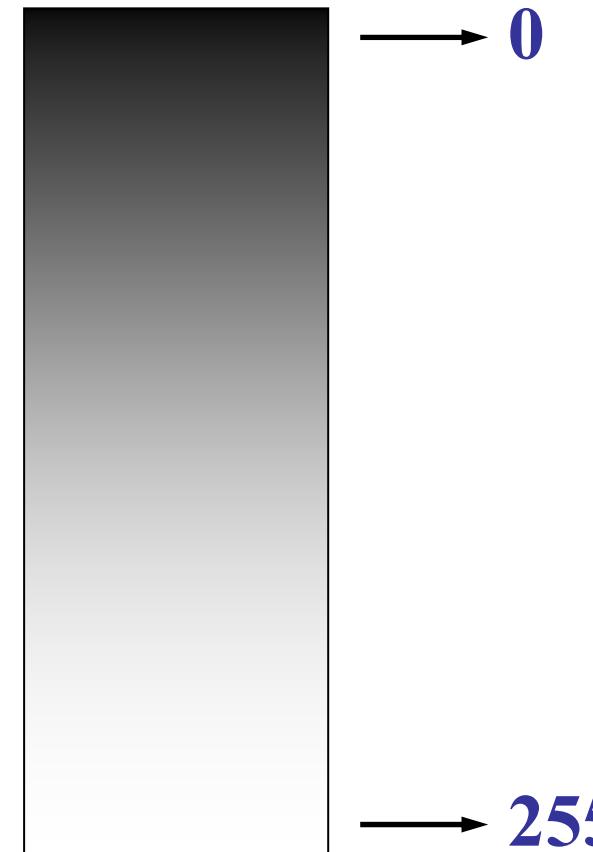
8 bits/pixel

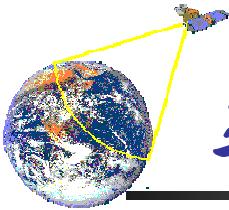
12 bits/pixel

16 bits/pixel

:

- 不同灰度图像的比较





基本概念—图像的表示

- 数字图像的基本要素

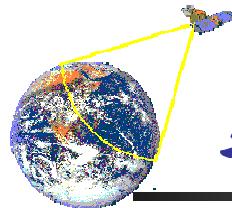
- 图像尺寸——一幅数字图像矩阵的大小

- ✓ **32X32、64X64、128X128、256X256、512X512、1024X1024、.....**

- ✓ **5280X6940、6000X6000、10000X10000、.....**

- ✓ **.....**

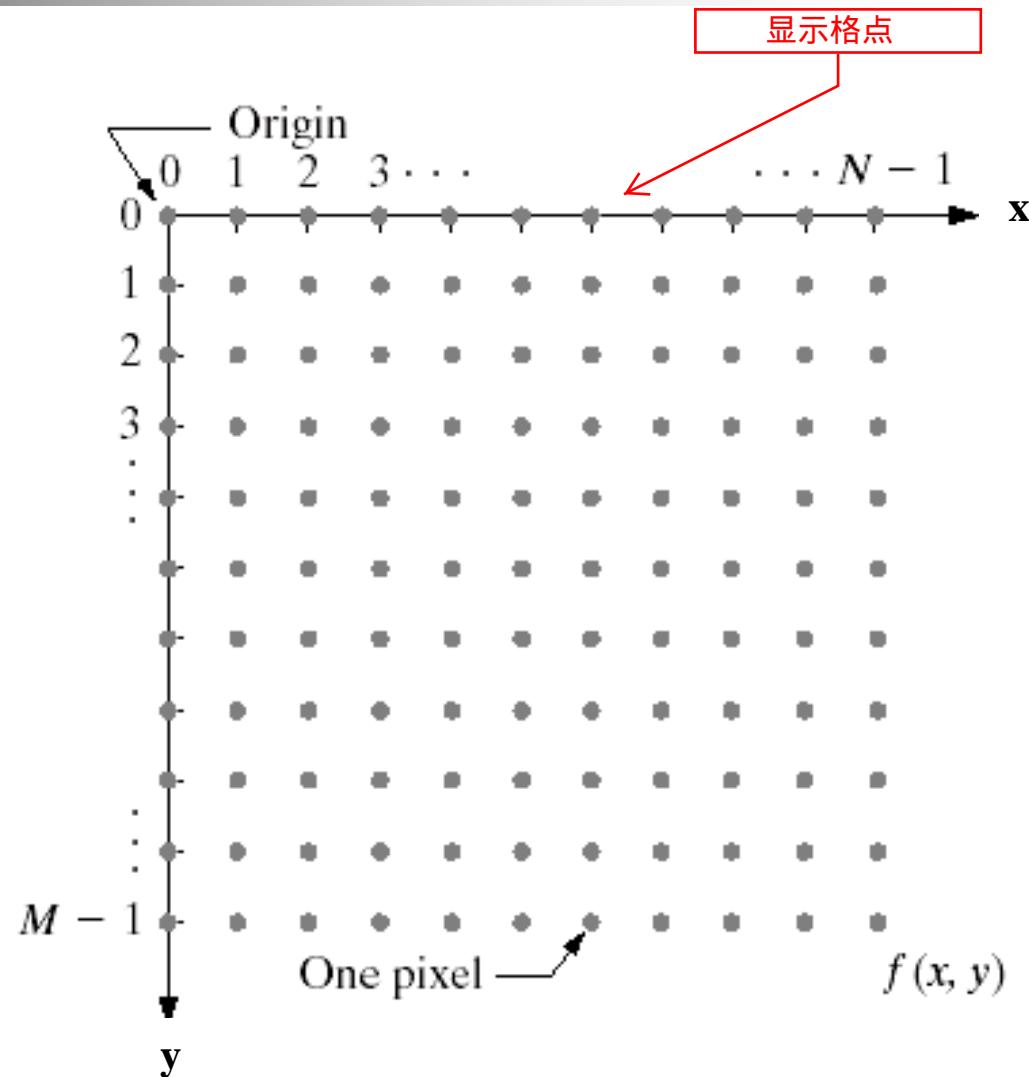
- 不同尺寸图像的比较

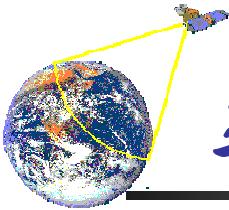


基本概念—图像的表示

■ 矩阵表示

- 图像是象素的二维排列
- 一般采用均匀采样
 - ✓ 像素行、列之间的间隔相等
 - ✓ 二维排列形成一个矩阵
- 特殊情况下，亦可采用非均匀采样





基本概念—图像的表示

■ 数学表示

➤ 二维离散函数—— $I=f(x, y)$

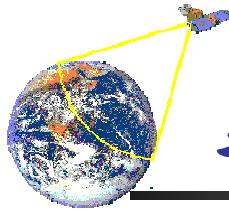
✓ x, y 表示图象象素的坐标

✓ 函数值 f 表示在坐标 (x, y) 处象素的亮度值

➤ 二维矩阵—— $A[m, n]$

✓ m, n 表示图象的宽和高

✓ 矩阵元素 $a(i, j)$ 表示图像在第 i 行，第 j 列的像素值

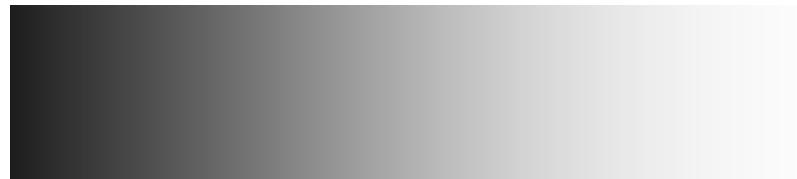


基本概念—图像的质量

■ 图像的质量

- 灰度——表示图像像素明暗程度的数值
- 灰度级——表明图象中不同灰度的最大数量

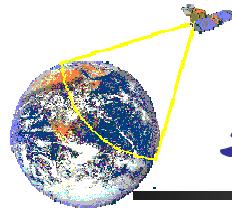
256级灰度



16级灰度



图像数据的实际灰度级越多，图像视觉效果越好

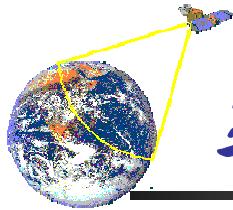


基本概念—图像的质量

■ 图像的质量

- 对比度——反映一幅图像中灰度方差的大小
 - ✓ 对比度=最大灰度值/最小灰度值

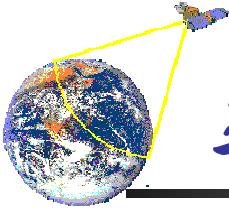




基本概念—图像的质量

■ 图像质量的评价

- 图像质量评价研究已成为图像信息工程的基础技术之一
- 当前对图像质量的评估方法主要分成两类
 - ✓ 主观评价——通过人眼主观视觉效果进行判断
 - ✓ 客观评价——通过客观的测量给出量化指标
- 主观评价的方法与标准已相对完善
- 而客观评价则处于热点研究中



基本概念—图像的质量

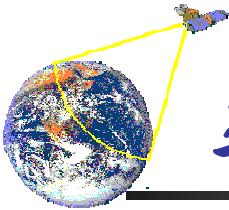
■ 主观评价

- 将待评价的图像序列播放给评论者观看，并记录他们的打分，然后对所有评论者的打分进行统计，得出平均分作为评价结果
- ITU-RBT.500-7标准定义了两种标准的主观评价方法
 - ✓ 双刺激连续质量分级法(DSCQS)

将待评估的图像序列和相应的基准序列交替播放给评估者看，每个图像持续时间为10s，按此播放顺序在处理图像的前后都有一个直接的质量比较。每个图像之后有2s的灰画面间隔，评估者可在此期间打分。最后以所有分数的平均值作为该序列的测试值

- ✓ 单刺激连续质量评价方法(SSCQE)

只把被评价的图像序列播放给评估者看。评价时间长达30s，评估者在观看的同时通过调节一个滑板的位置指向相应的评价分值给出评分

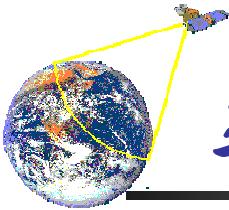


基本概念—图像的质量

■ 主观评价（续）

- 通常分为绝对评价和相对评价两类
 - ✓ 绝对评价：由观察者根据事先规定的评价尺度或自己的经验对图像作出判断和评价
 - ✓ 相对评价：由观察者对一组图像按质量高低进行分类，并给出质量分数
- 主观质量测量评分

级别	评价标准	绝对尺度	相对尺度
1	丝毫不看不出图像质量变坏	很好	一群中最好
2	可看出图像质量变化但不妨碍观看	较好	好于该群中平均水平
3	明显地看出图像质量变坏	一般	该群中平均水平
4	图像质量对观看有妨碍	较差	差于该群中平均水平
5	图像质量对观看有严重妨碍	很差	该群中最差



基本概念—图像的质量

■ 客观评价

➤ 传统客观评价方法

需要有原图像

通过计算恢复图像偏离原始图像的误差来衡量恢复图像的质量，最常用的有均方误差(MSE)和峰值信噪比(PSNR)

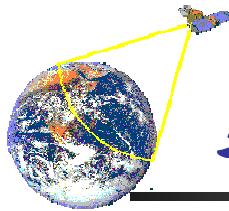
均方误差(MSE):

$$MSE = \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (f_{ij} - f'_{ij})^2$$

峰值信噪比(PSNR):

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{L^2}{MSE} \quad (\text{dB})$$

其中 N 、 M 分别是 x 方向、 y 方向图像像素点的个数， f_{ij} 和 f'_{ij} 分别是原始图像和测试图像在 (i,j) 点上的取值， L 是图像中灰度取值的范围，对8比特的灰度图像而言， $L=255$ 。



基本概念—图像的质量

■ 客观评价 - 传统客观评价方法计算实例

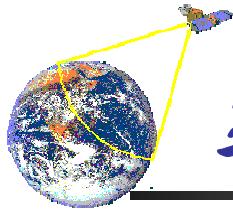
➤ 4x4图像, 4bits/pixel

$$\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 1 & 8 & 6 & 6 \\ \hline 6 & 3 & 11 & 8 \\ \hline 8 & 8 & 9 & 10 \\ \hline 9 & 10 & 10 & 7 \\ \hline \end{array} - \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 2 & 8 & 8 & 7 \\ \hline 6 & 3 & 12 & 8 \\ \hline 5 & 4 & 9 & 1 \\ \hline 15 & 9 & 11 & 9 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 1 & 0 & 2 & 1 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 3 & 4 & 0 & 9 \\ \hline 6 & 1 & 1 & 2 \\ \hline \end{array}$$
$$\begin{array}{c|c} | X & - \\ | x_{ij} & - \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{c|c} | Y & = \\ | y_{ij} & = \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{c} Z \\ z_{ij} \\ \hline \end{array}$$

$$MSE = \frac{1}{4 \times 4} (1 + 0 + 4 + 1 + 0 + 0 + 1 + 0 + 9 + 16 + 0 + 81 + 36 + 1 + 1 + 4) = 9.6875$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{(2^B - 1)^2}{MSE} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{15^2}{9.6875} \right) = 13.7 dB$$

10 dB -> 10 倍
20 dB -> 100 倍



基本概念—图像的质量

■ 客观评价（续）

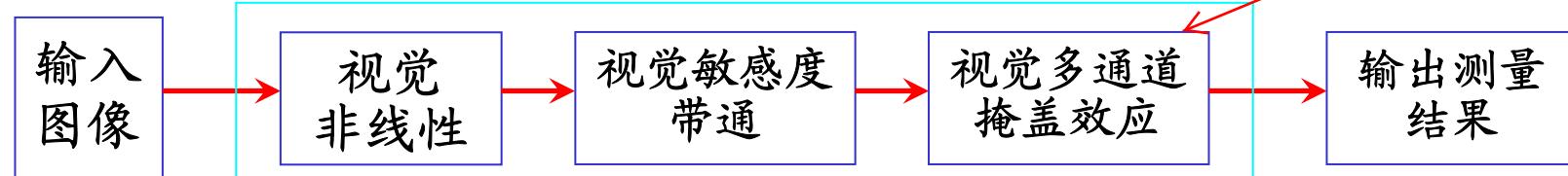
新方法研究——基于视觉特性的影像质量评价方法

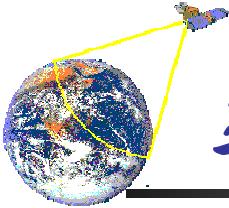
探索人眼视觉特性(HVS)对图像的感知机理，仿人眼视觉模型的原理对图像质量进行客观评估

➤ 基于视觉感知的测量方法

- ✓ 图像降质对人眼视觉的影响取决于人眼视觉系统的灵敏度
- ✓ 人眼视觉系统的灵敏度受到图像局部空间频率的影响
- ✓ 大量实验结果证明：影响像素误差可视度的因素是误差周围的局部区域环境，而不是整个图像的背景环境
- ✓ 根据上述视觉特性，人们建立了各种HVS模型，用以评价图像的质量

掩盖效应：局部纹理、亮度造成
的对图像像素修改的不敏感





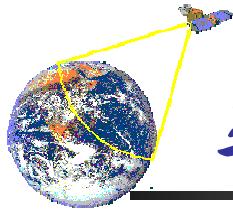
基本概念—图像的质量

■ 客观评价（续）

➤ 基于视觉兴趣的测量方法

- ✓ 从视觉心理学角度，视觉是一种积极的感受行为，不仅与生理因素有关，还在相当大的程度上取决于心理因素
- ✓ 人们在观察和理解图像时往往会不自觉地对其中某些区域产生兴趣，这些区域称之为“感兴趣区(ROI)”，整幅图像的视觉质量往往取决于ROI的质量
- ✓ 现实生活中人们由于文化背景、周围环境以及情绪的影响，对同一幅图像的评价会产生较大偏差，但是对于图像中关注的区域却具有共性
- ✓ 根据上述视觉特性，人们探索各种ROI评价方式。如通过对图像中不同区域的加权突出人眼对ROI的兴趣程度

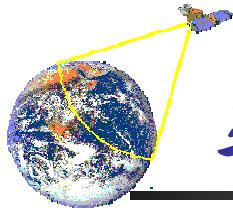
$$IMSE = \frac{1}{S} \left[\lambda_1 \sum_{(i,j) \in A_1} (f_{ij} - f'_{ij})^2 + \lambda_2 \sum_{(i,j) \in A_2} (f_{ij} - f'_{ij})^2 \right]$$



基本概念—图像的颜色

人类对光本性认识的三阶段

- 光微粒子：牛顿→几何光学→直线传播
能解释的现象：反射、折射、透射
- 光波：惠更斯等→波动光学→波长、频率
能解释的现象：干涉、衍射
- 光(量)子：爱因斯坦、普朗克→量子光学
→能量量子化（不连续）
能解释的现象：光电效应、康普顿散射

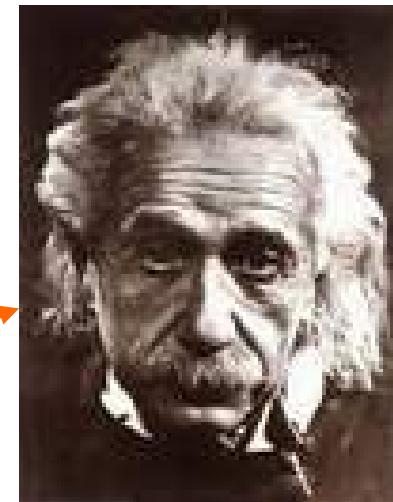


基本概念—图像的颜色

人类对光本性认识的三阶段

- 光微粒子：牛顿→几何光学→直线传播

能解释的现象：反射、折射、透射



- 光波：惠更斯等→波动光学→波长、频率

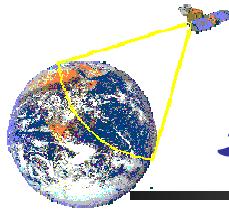
能解释的现象：干涉、衍射

- 光(量)子：**爱因斯坦**、普朗克→量子光学

→能量量子化（不连续）

能解释的现象：**光电效应**、康普顿散射

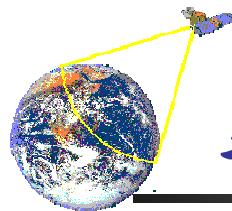
1921年诺贝尔奖



基本概念—图像的颜色

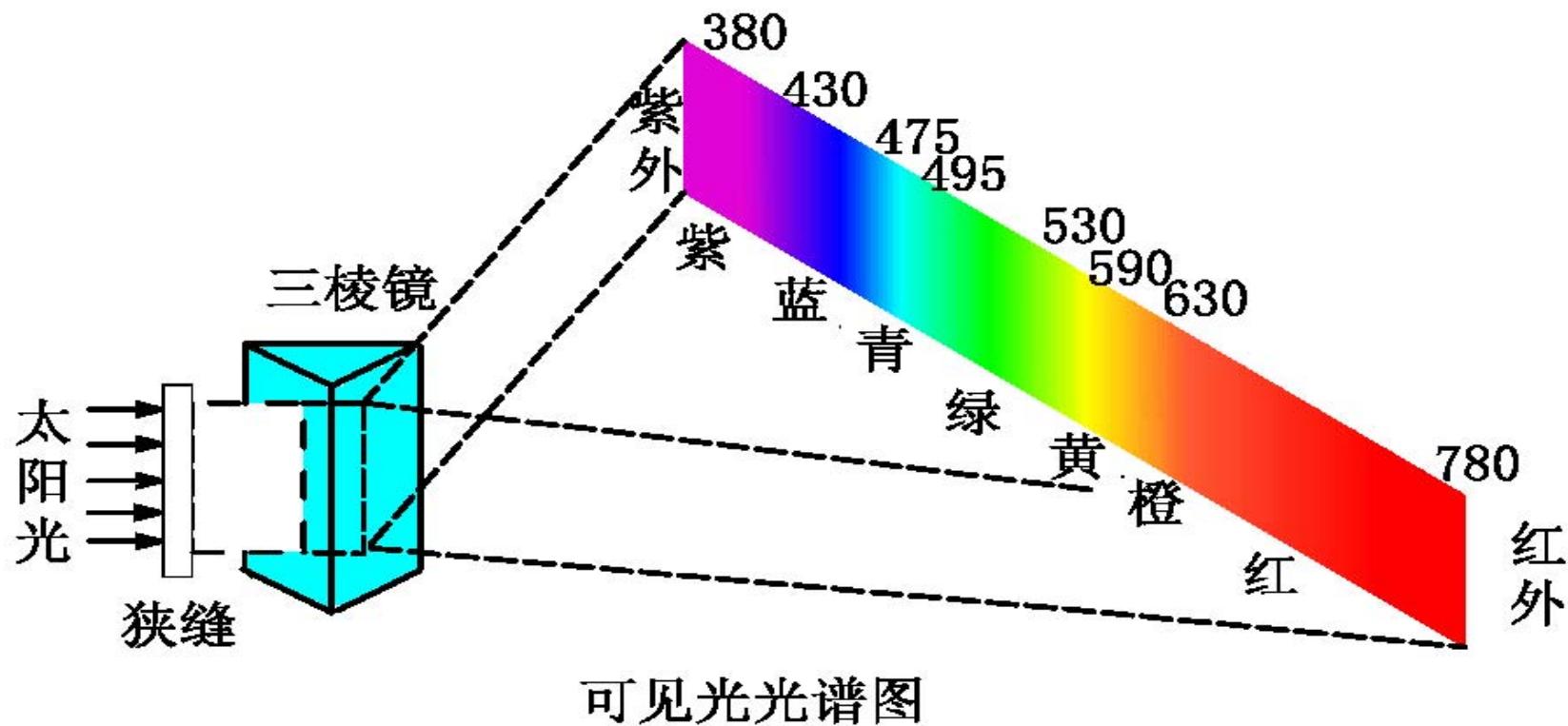
■ 光与颜色

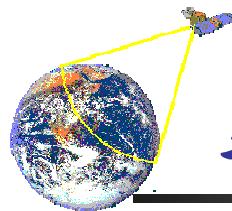
- 宇宙之中只有两种东西
 - ✓ 会发光的
 - ✓ 不会发光的
- 发光物质的颜色—由所发出的光决定
- 不发光物质
 - ✓ 必须外来光源的照射才有颜色
 - ✓ 一个非发光物质的颜色取决于光源与物质光特性
 - ✓ 同样的东西在不同光源照射下会显现不同颜色



基本概念—图像的颜色

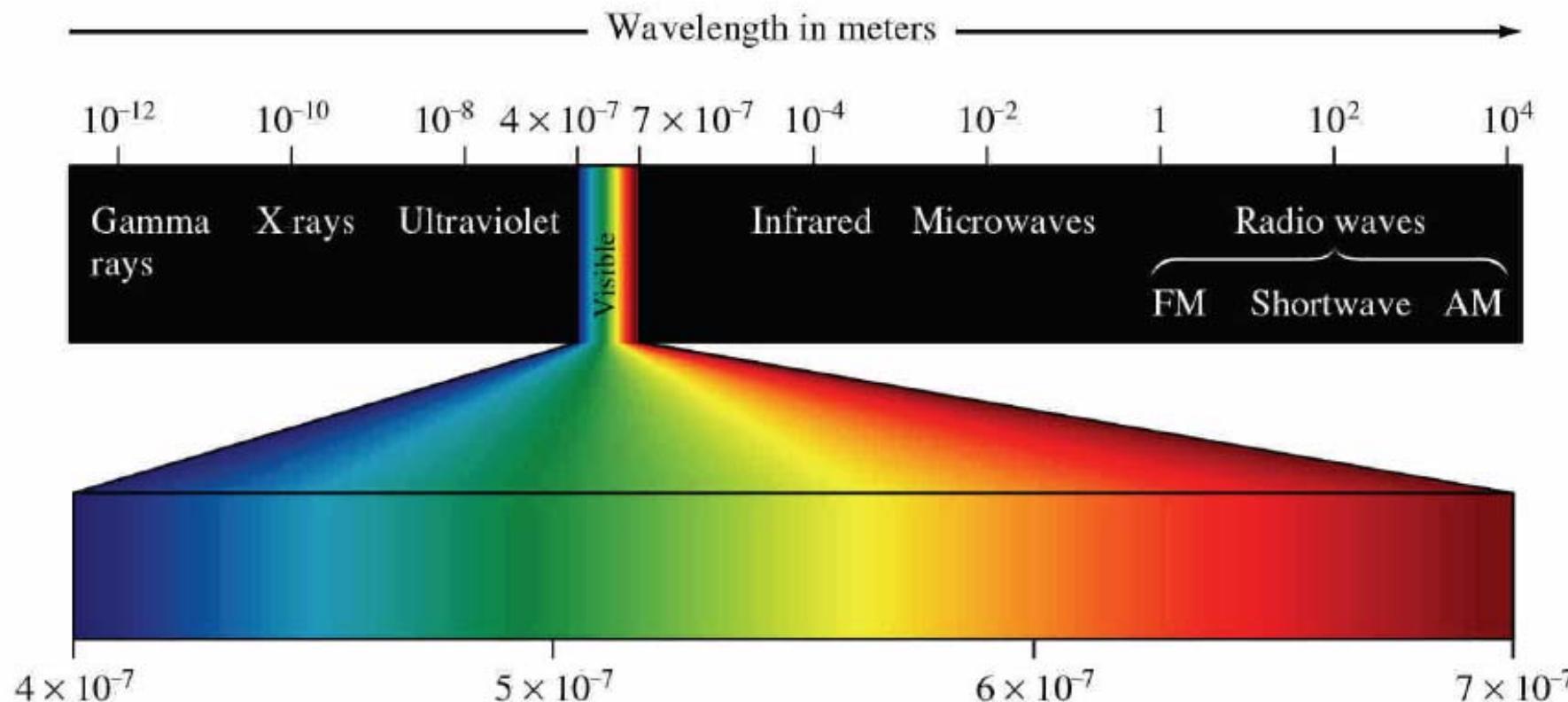
- 日光成分—由多种颜色混合而成

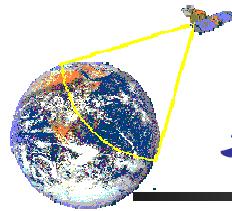




基本概念—图像的颜色

■ 电磁波分布

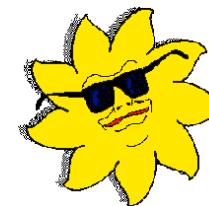




基本概念—图像的颜色

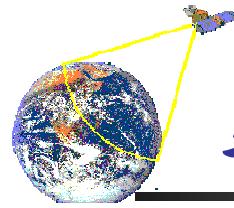


光线产生



颜料画像



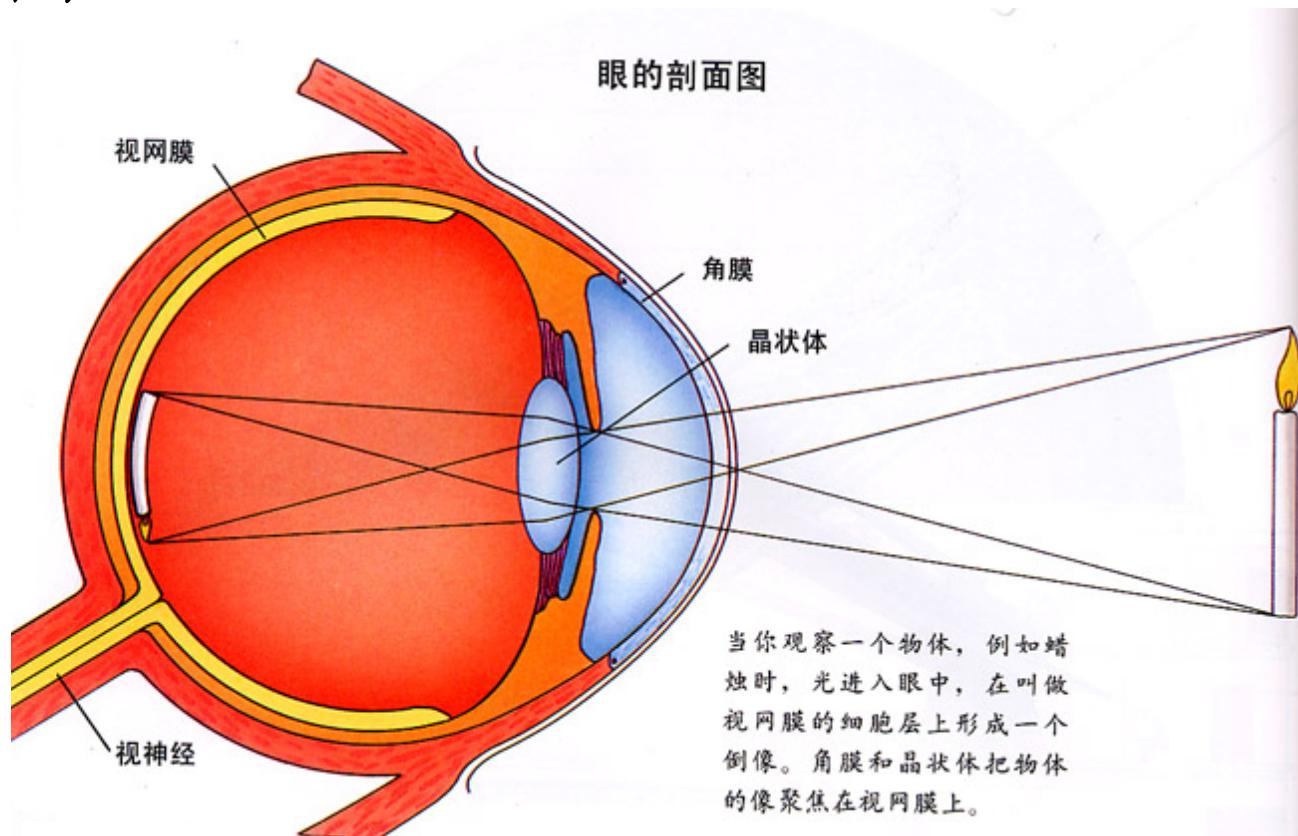


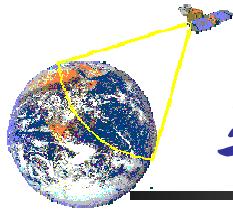
基本概念——人类的视觉模型

■ 人类视觉构造

- 角膜、巩膜—保护眼睛
- 晶状体—聚焦图像
- 视网膜—感受图像

锥状细胞
(Cones) — 明视觉细胞
杆状细胞
(Rods) — 暗视觉细胞





基本概念——人类的视觉模型

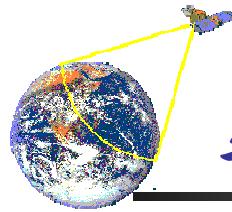
■ 人类的视觉系统

视觉器官—眼

折光系统 **dioptic system**
(角膜、房水、晶状体、玻璃体)

感光系统 **photosensory system**
(视网膜中的感光细胞)

人眼的适宜刺激：波长380 – 760nm电磁波。



基本概念——人类的视觉模型

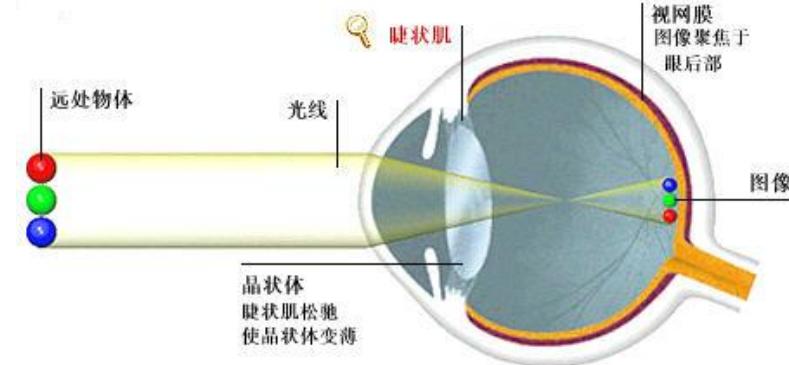
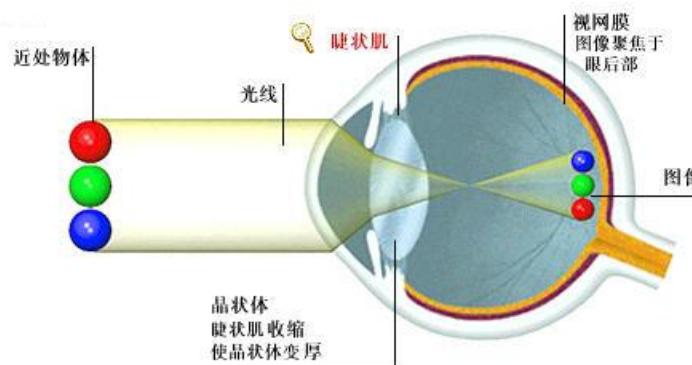
■ 物体在人眼中成像 - 视调节

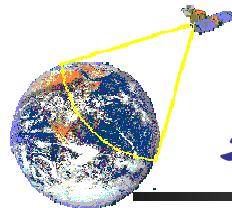
➤ 晶状体的调节

- ✓ 晶状体是一个富有弹性的组织，形似双凸透镜
- ✓ 当看近物时，睫状肌反射性收缩，睫状体被拉前移，晶状体由于自身弹性而向前、向后凸出，增加曲率，使物像前移到视网膜上
- ✓ 反之，看远物时睫状肌松弛，睫状体后移，晶状体曲率减少，物像向后移到视网膜上

➤ 瞳孔调节

- ✓ 看近物时，可反射性引起双眼瞳孔缩小，称为瞳孔调节反射。瞳孔缩小后，可减少折光系统的球面像差和色像差，增加视觉的清晰度



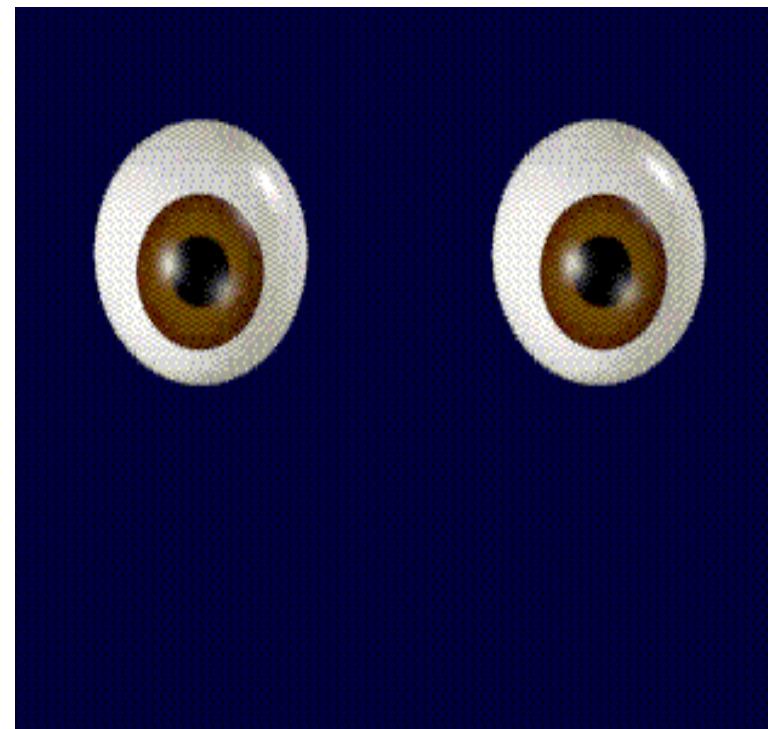


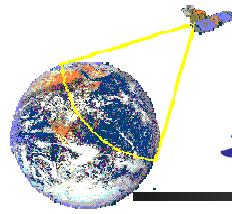
基本概念——人类的视觉模型

■ 物体在人眼中成像 - 视调节

➤ 两眼会聚

- ✓ 当双眼凝视一个向眼前移近的物体时，可看到两眼向鼻侧会聚
- ✓ 作用：使近处物体成像于两眼视网膜的对称点上，产生单一视觉，而不产生复视

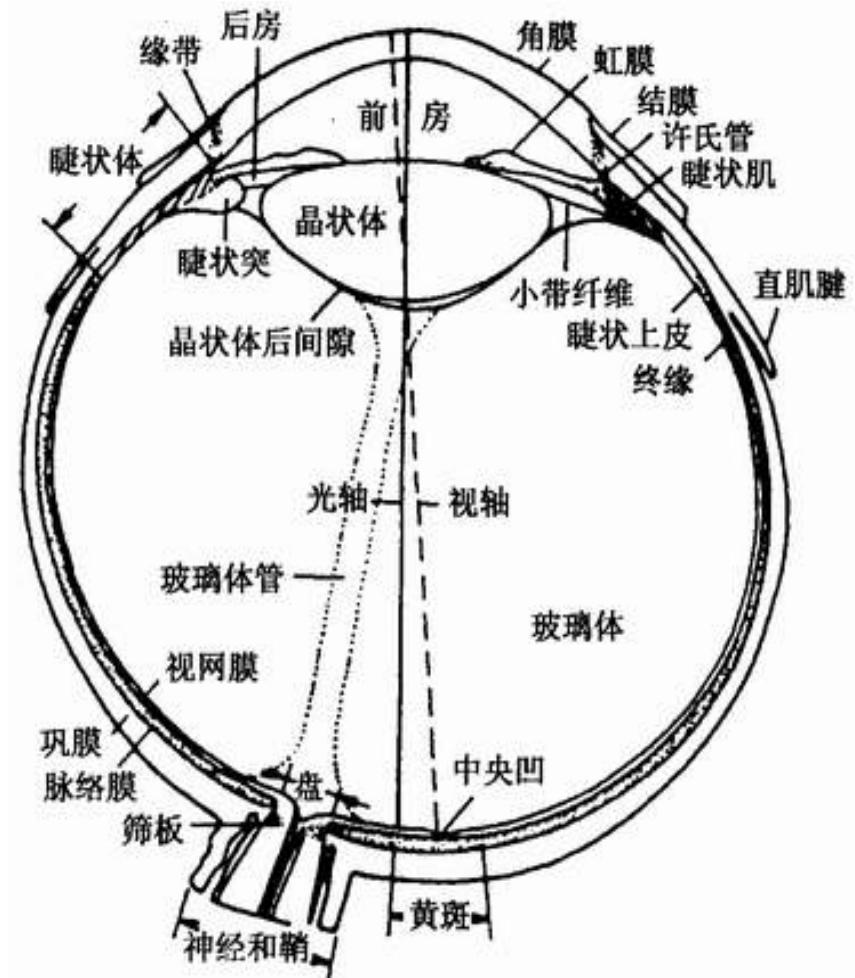


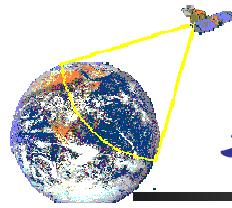


基本概念——人类的视觉模型

■ 视网膜：

- 中心直径约6毫米的中央区+周边区；
- 中央区内有直径2毫米的黄斑（呈黄色）；
- 黄斑中央是中央凹(fovea)，面积约1平方毫米。
- 中央凹没有杆状细胞，只有锥状细胞，其密度高达每平方毫米150,000，是产生最清晰视觉的地方。
- 离开中央凹，锥状细胞急剧减少，而杆状细胞急剧增多，在离开中央凹20度的地方，杆状细胞最多
- 离开中央凹，视觉的分辨能力逐渐下降，对黑白、运动的感受能力逐渐增强
- 中央区周围的外围区，是人们区别黑白、捕捉运动、分辨阴影的区域

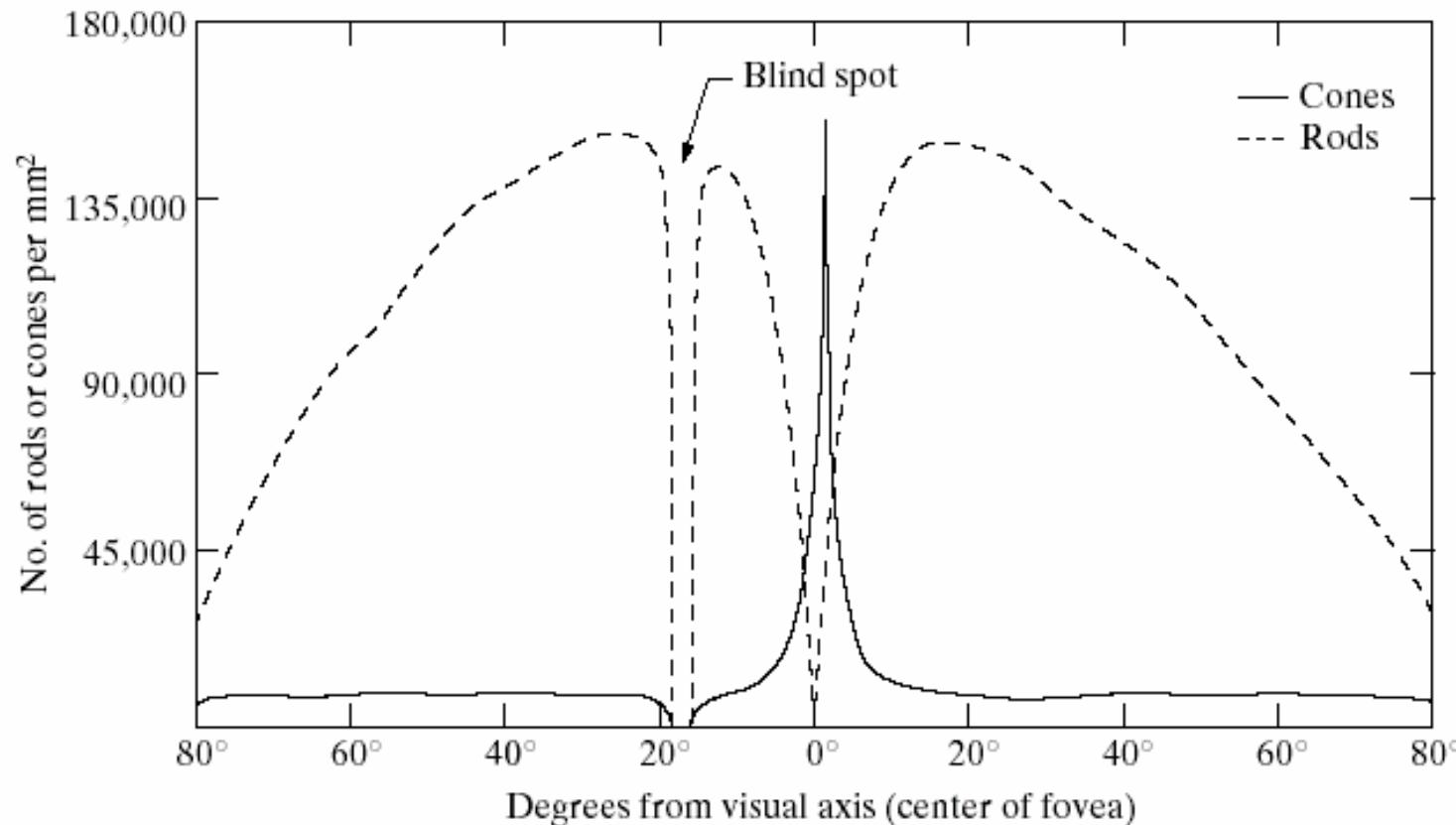


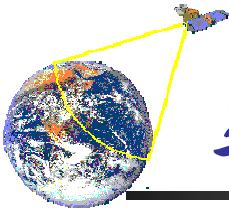


基本概念——人类的视觉模型

- 中央凹:

- 在注视点，具有最高的视觉分辨率；离开注视点，视觉分辨率急剧下降





基本概念——人类的视觉模型

■ 视网膜的感光细胞

➤ 杆状细胞 (rod cell) :

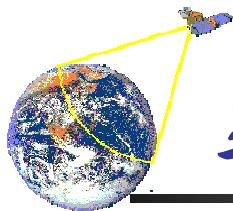
- ✓ 负责黑白视觉，同时负责察觉物体的运动
- ✓ 对低亮度光敏感（夜视觉）
- ✓ 数量约为7500万~1.5亿

➤ 锥状细胞 (cone cell) —— 负责彩色视觉

- ✓ 有三种类型：红色、绿色、蓝色感光细胞
- ✓ 可感受6~7百万种颜色
- ✓ 空间分辨能力强，能看清物体表面的细节与轮廓境界
- ✓ 数量约为600~700万

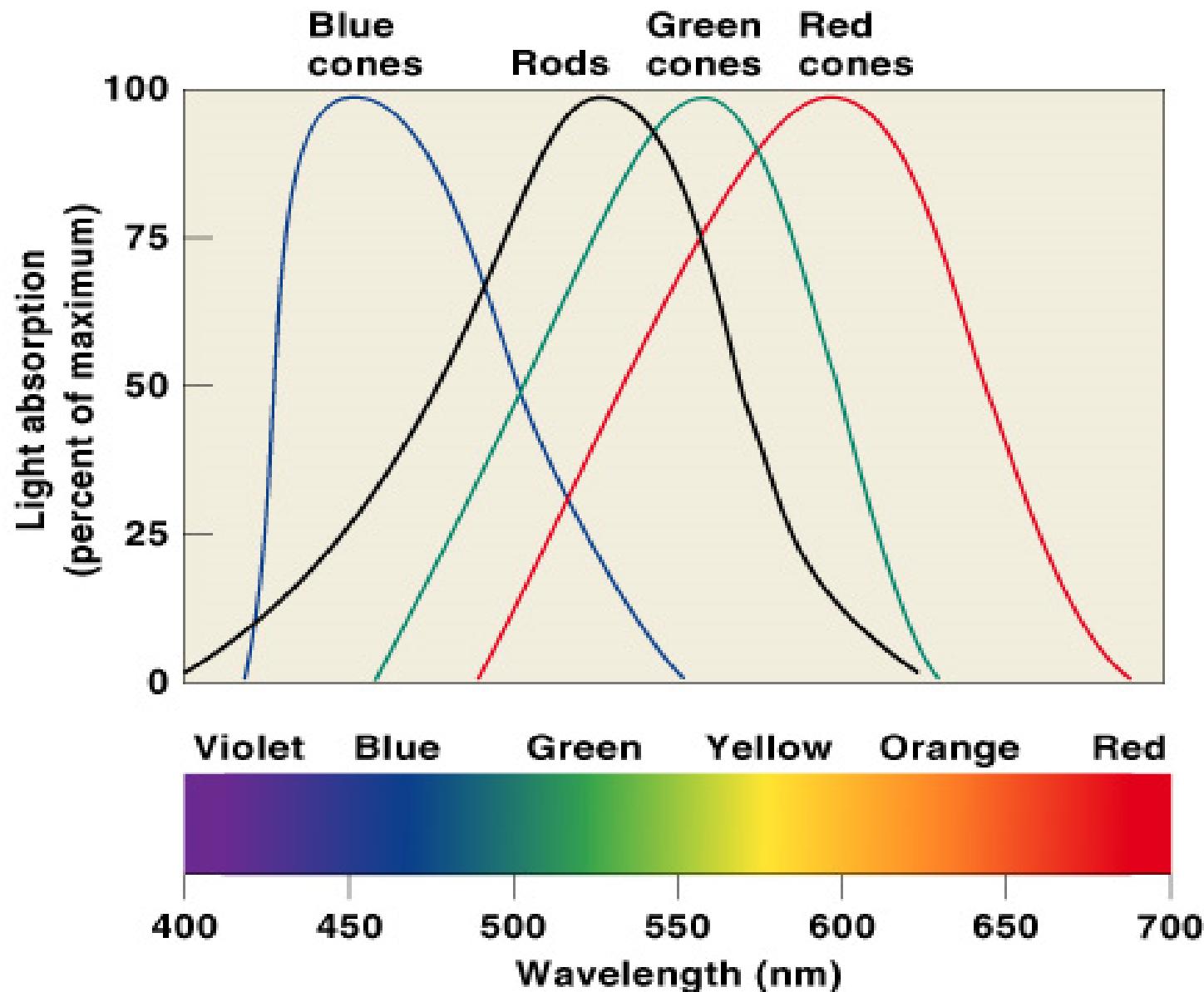
➤ 典型动物

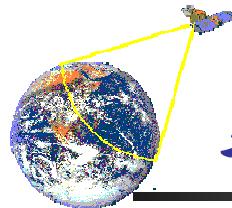
- ✓ 猫头鹰仅有杆状细胞
- ✓ 鸡仅有锥状细胞



基本概念——人类的视觉模型

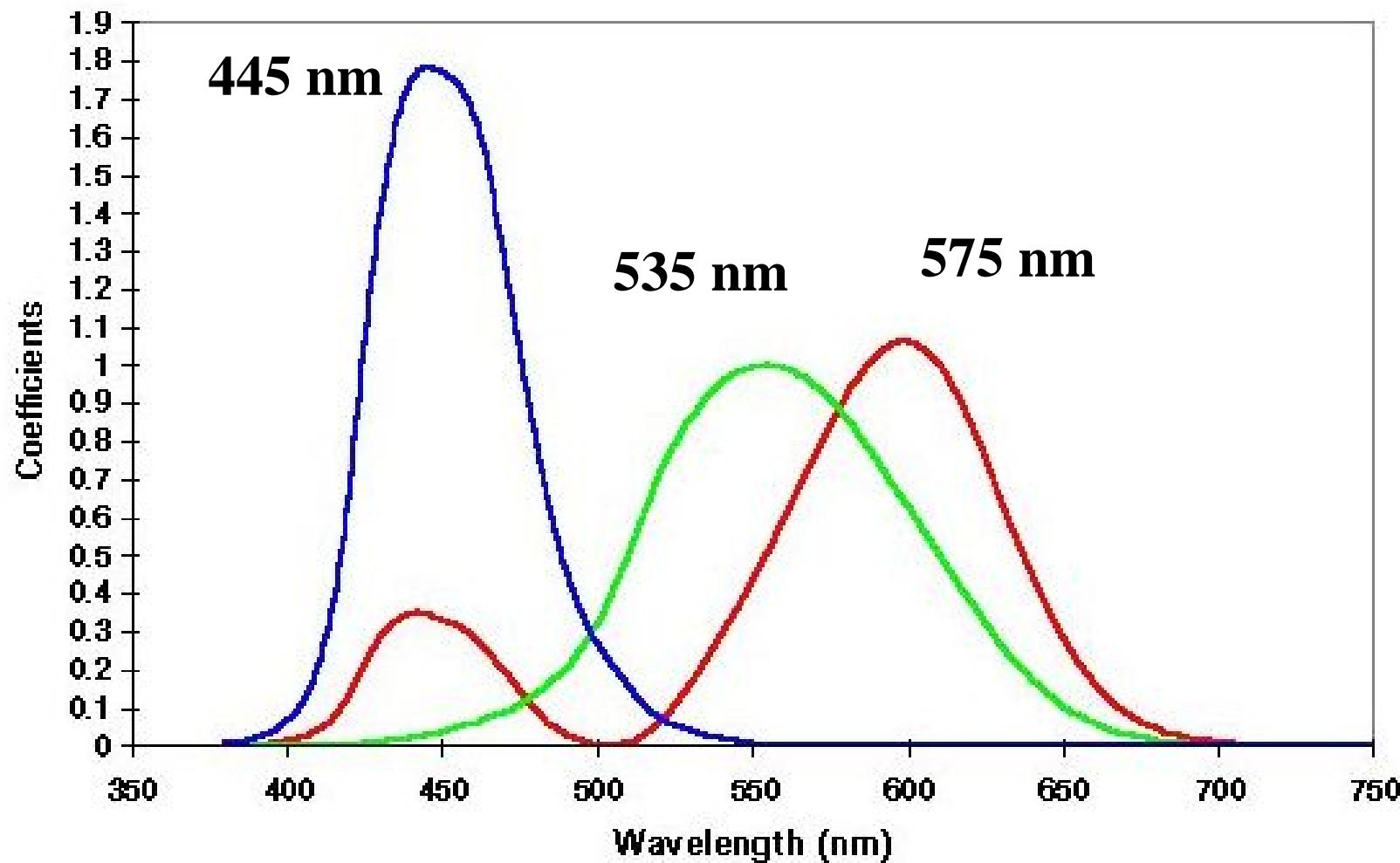
■ 各种细胞对不同光波的
感光范围

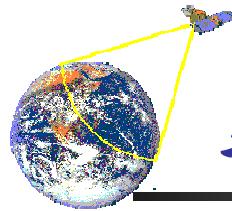




基本概念——人类的视觉模型

- 三种锥状细胞对不同光波的感光灵敏度

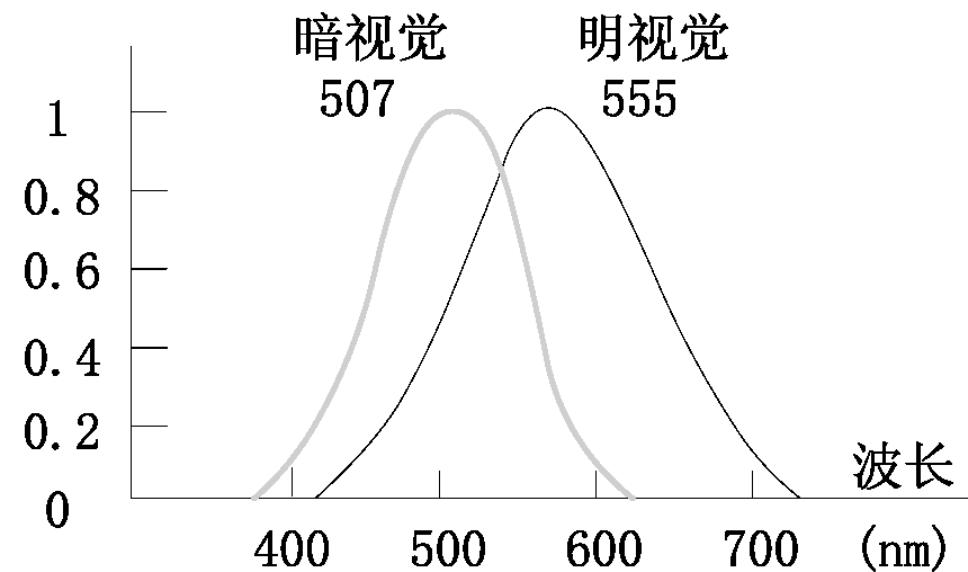




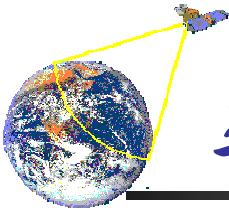
基本概念——人类的视觉模型

■ 人眼对亮度的适应能力与鉴别能力

- 感光灵敏度：杆状细胞与锥状细胞不同
- 锥状细胞：明视觉
- 杆状细胞：暗视觉



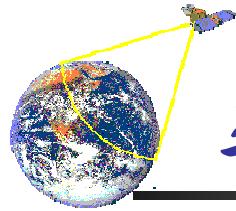
相对视敏函数曲线图



基本概念——人类的视觉模型

■ 人眼对亮度的适应能力与鉴别能力（续）

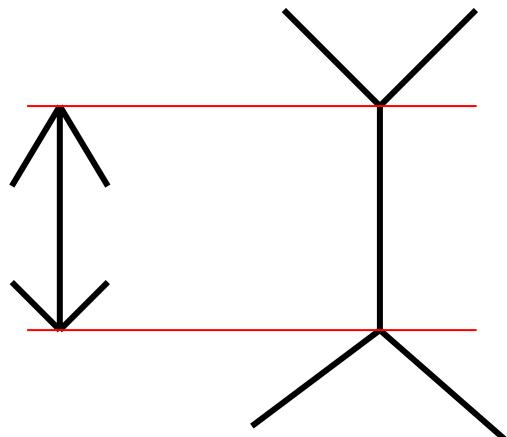
- **适应能力**: 人眼能够感知的亮度最大值和最小值范围；最大值和最小值之比— 10^{10} 以上
- **人眼对光亮度的响应**: 对数特性
- **动态范围**: 人眼能够同时分辨的亮度范围，远远小于人眼对亮度的适应范围
- **视觉亮度灵敏度**: 人眼辨别亮度差别的能力，与环境亮度和本身亮度有关
- **暗适应**: 从亮光处到暗光处的适应能力，一般20~30秒
- **亮适应**: 从暗处到亮处的适应能力，一般1~2秒



基本概念——人类的视觉模型

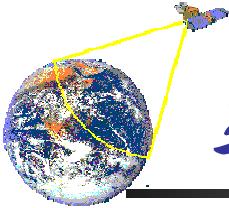
■ 人眼对亮度的适应能力与鉴别能力（续）

➤ 人眼的视觉残留现象: 人眼对亮度的感觉不会随着光刺激的消失而立即消失，而是大致按指数规律逐渐减小



➤ 错视现象: 人眼对物体形状和大小的感觉因物体的布置、远近、背景条件的不同而不同

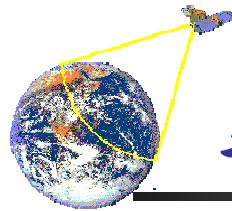
➤ 埃舍尔的错觉艺术



基本概念——人类的视觉模型

■ 人眼的分辨能力

- 对灰度层次的分辨能力——约40级
- 对颜色的分辨能力
 - ✓ 光波波长变化 1~2 nm，人眼即可感受到
 - ✓ 人眼可同时分辨数千种不同色彩和不同亮度的颜色
 - ✓ 面积对色觉的影响：目标物体的颜色面积变小时，色觉颜色也变；面积小到一定程度时，变为灰色
 - ✓ 色对比：若目标物的色度相同，但背景色度有所不同时，看起来有不同的颜色
 - ✓ 主观色：一个纯黑白的图形在特殊情况下也会有颜色感觉（转动的Benham黑白圆板）



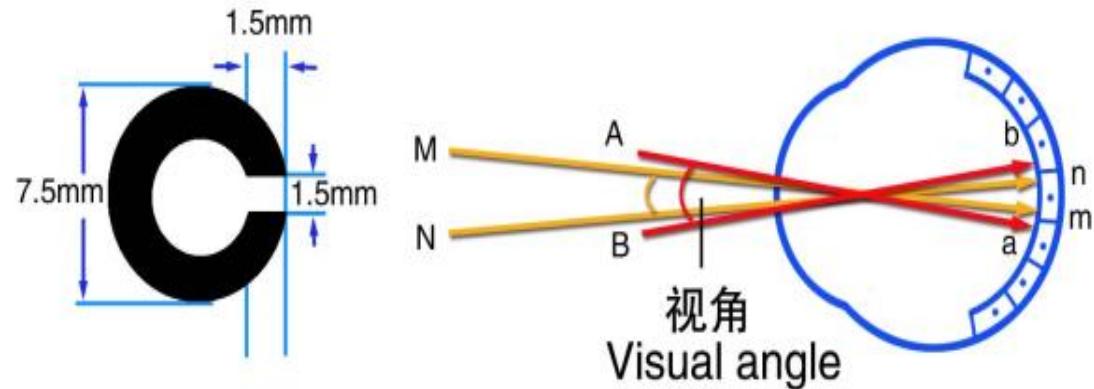
基本概念——人类的视觉模型

■ 人眼的分辨能力

➤ 视力 (视敏度visual)

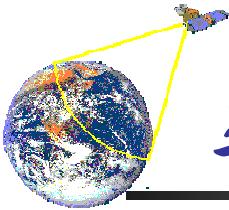
分辨物体细微结构的最大能力，看清物体上距离最小两点的能力

$$\text{视力} = \frac{1}{\text{视角}}$$



视角=1° 视力1.0
视角=10° 视力0.1

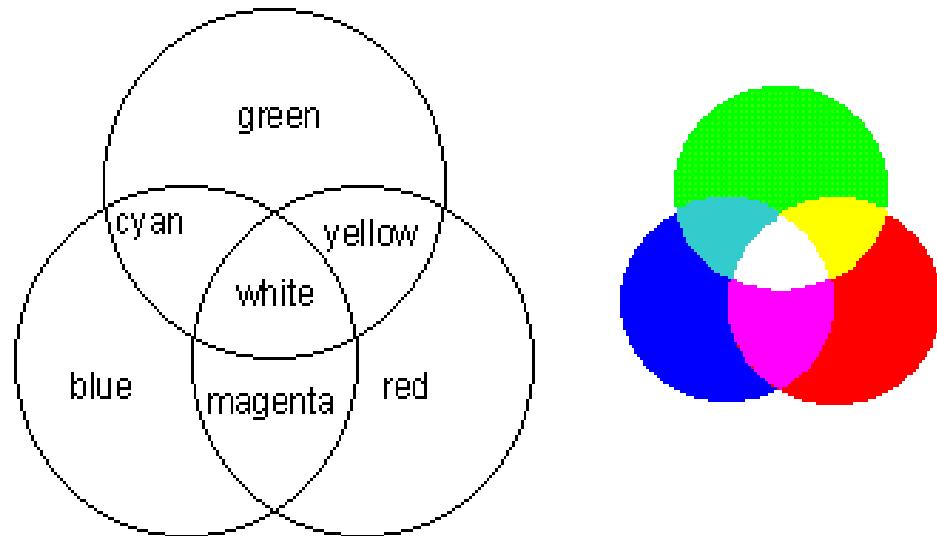
图 - 视敏度示意图



基本概念—图像的颜色

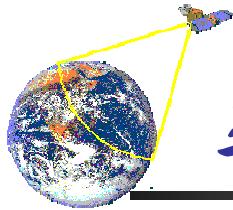
■ 视觉三基色假说

三基色是这样的三种颜色，它们相互独立，其中任一色均不能由其它二色混合产生。它们又是完备的，即所有其它颜色都可以由三基色按不同的比例组合而得到



■ 任何颜色均可由红、绿、蓝三基色产生

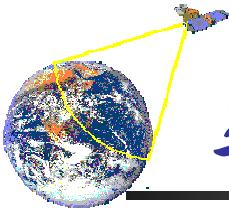
$$C=R+G+B$$



基本概念——图像的颜色

■ 视觉三基色假说——格拉斯曼定律

- 所有颜色都可由相互独立的三基色得到
- 假如三基色的混合比相等，则色调和色饱和度也相等 不一定是R . G和B
- **任意两种颜色**混合产生的新颜色与采用三基色分别合成这两种颜色的各自成分混合起来得到的结果相等
- 混合色的光亮度是原来各分量光亮度的总和



基本概念—图像的颜色

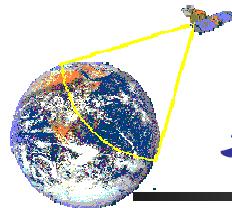
■ R、G、B 三基色的选择

- 人眼的感受光谱范围约为380~780 nm，采用锥状细胞最敏感的三基色不足以产生全部彩色
- 原则上可采用各种不同的三色组
- 为标准化起见，1931年国际照明委员会(CIE)作了统一规定，选定波长为700nm、546.1nm和435.8nm的单色光作为红(R)、绿(G)、蓝(B)三原色，又称为物理三基色
- 任意彩色的颜色方程为

$$F = \alpha(R) + \beta(G) + \gamma(B)$$

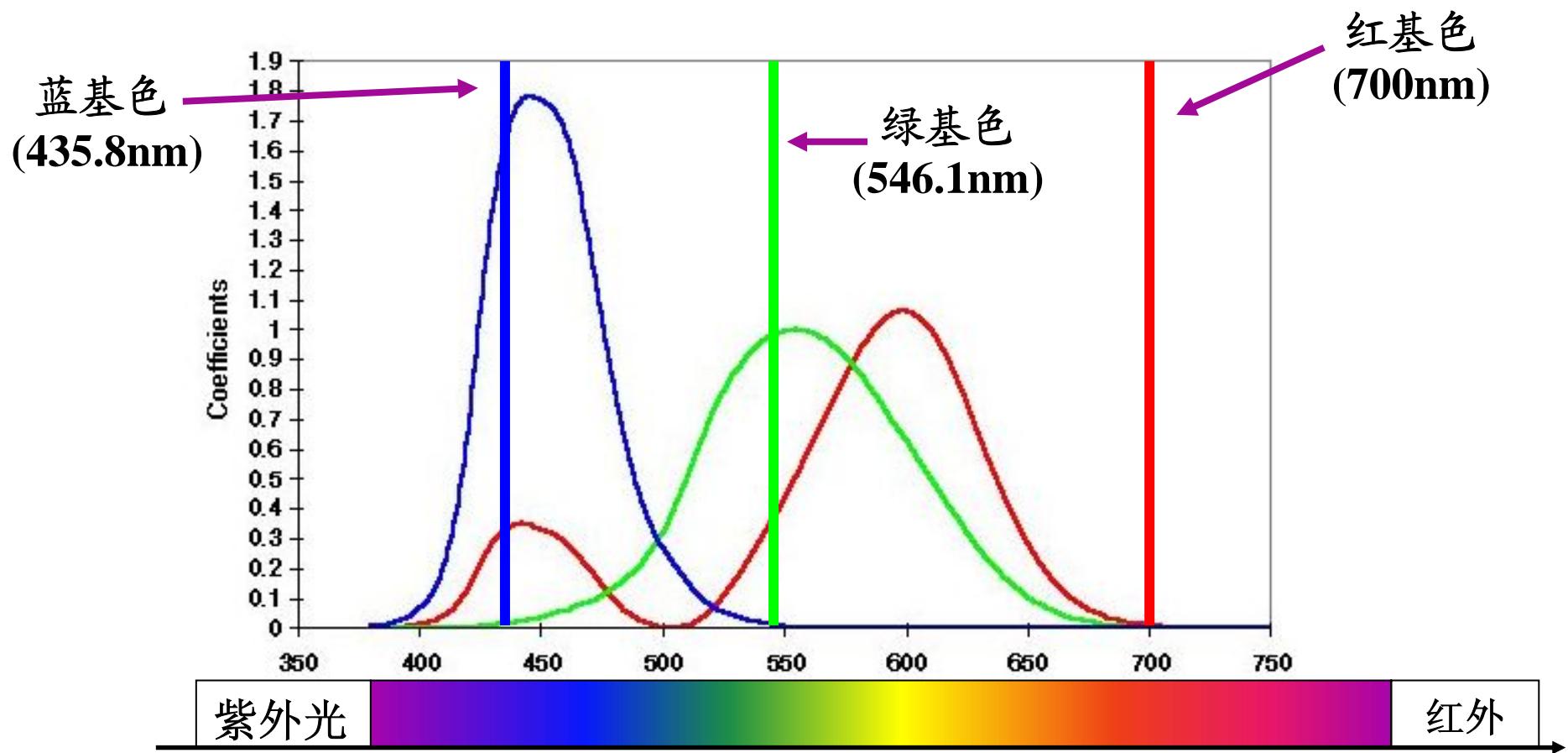
$$\alpha, \beta, \gamma \geq 0$$

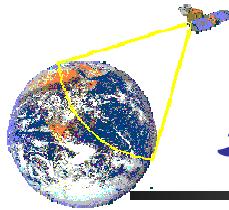
α 、 β 、 γ 是红、绿、蓝三色的混合比例，一般称为三色系数



基本概念—图像的颜色

- R、G、B 三基色的选择



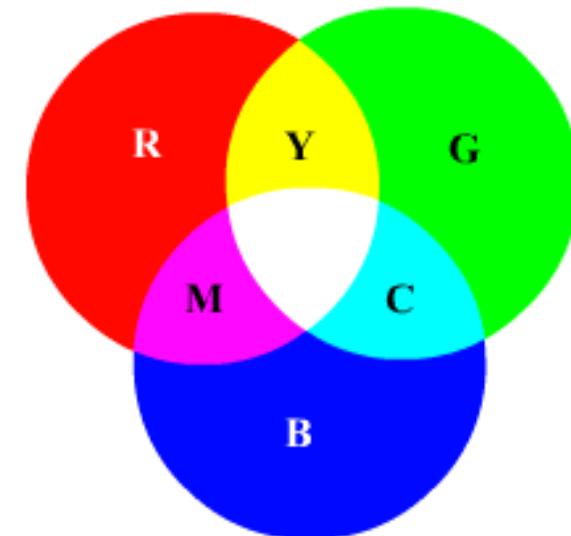


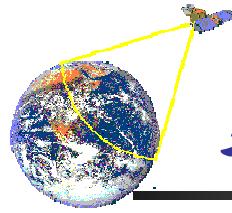
基本概念——图像的颜色

■ 视觉三基色假说——两种基色系统

➤ 加色系统：其基色是红、绿、蓝；不同比例的三基色光相加得到彩色称为相加混色

- ✓ 红 + 绿 = 黄
- ✓ 红 + 蓝 = 紫
- ✓ 蓝 + 绿 = 青
- ✓ 红 + 蓝 + 绿 = 白





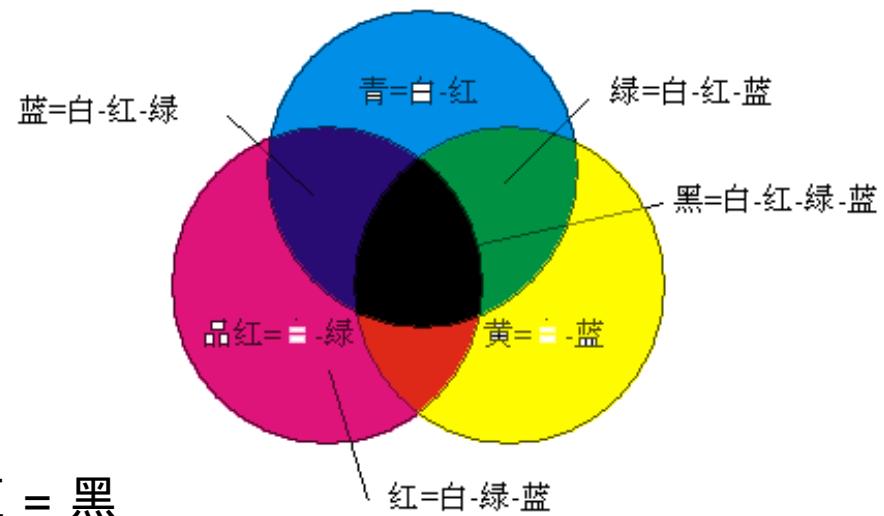
基本概念——图像的颜色

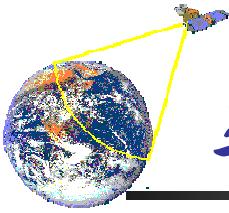
■ 视觉三基色假说——两种基色系统

➤ 减色系统：其基色是黄、青、紫（或品红）；通常为绘画颜料或染料，颜料能吸收入射光光谱中的某些成分，未吸收的部分被反射，从而形成了该颜料特有的彩色，这就是相减混色。当不同比例的颜料混合在一起的时候，它们吸收光谱的成分也随之改变，从而得到不同的彩色

- ✓ 黄 = 白 - 蓝
- ✓ 紫 = 白 - 绿
- ✓ 青 = 白 - 红

- ✓ 黄 + 紫 = 白 - 蓝 - 绿 = 红
- ✓ 黄 + 青 = 白 - 蓝 - 红 = 绿
- ✓ 紫 + 青 = 白 - 绿 - 红 = 蓝
- ✓ 黄 + 紫 + 青 = 白 - 蓝 - 绿 - 红 = 黑





基本概念—图像的颜色

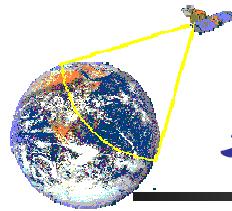
■ 颜色模型（颜色空间）

- 描述颜色的三维空间坐标系
- 一个颜色定义为颜色空间的一个点

■ 常用的颜色模型

- **RGB**（红、绿、蓝）
 - ✓ 主动产生颜色光源（显示器）
- **CMYK**（青、品红、黄、黑）（Cyan, Magenta, Yellow, Black）
 - ✓ 用于印刷、绘画等
- **HSI**（色调、色饱和度、亮度）（Hue, Saturation, Intensity）
 - ✓ 用于调整颜色分量

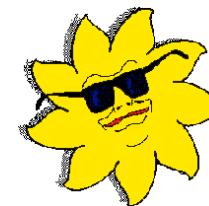
- 一幅图像在计算机中用**RGB**空间显示；用**RGB**或**HSI**空间编辑处理；打印输出时要转换成**CMY**空间；如果要印刷，则要转换成**CMYK**四幅印刷分色图，用于套印彩色印刷品



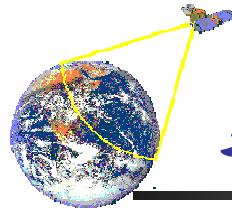
基本概念—图像的颜色



RGB颜色
空间



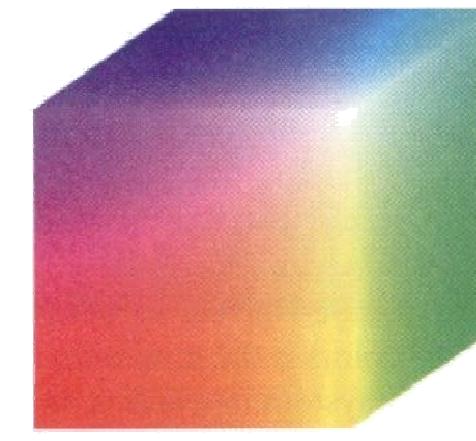
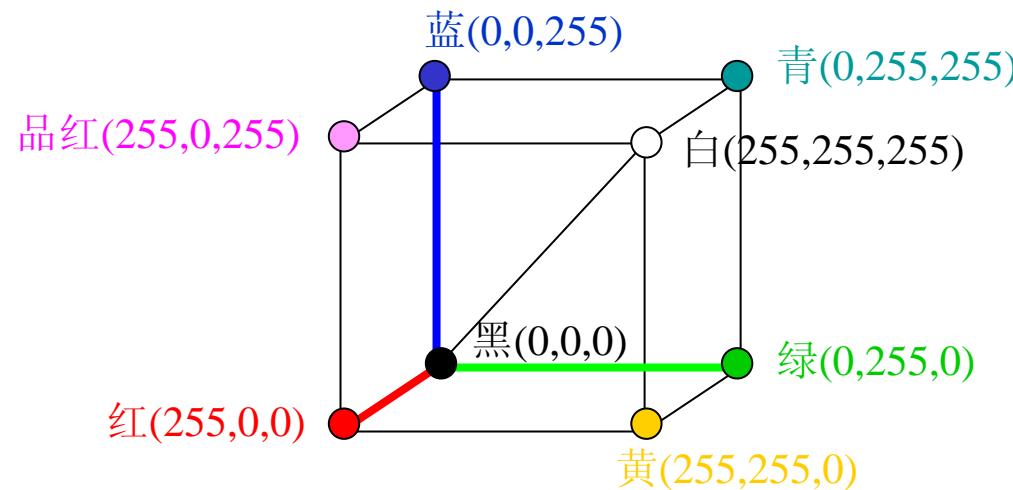
CMYK颜色空间

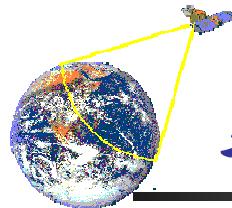


基本概念——图像的颜色

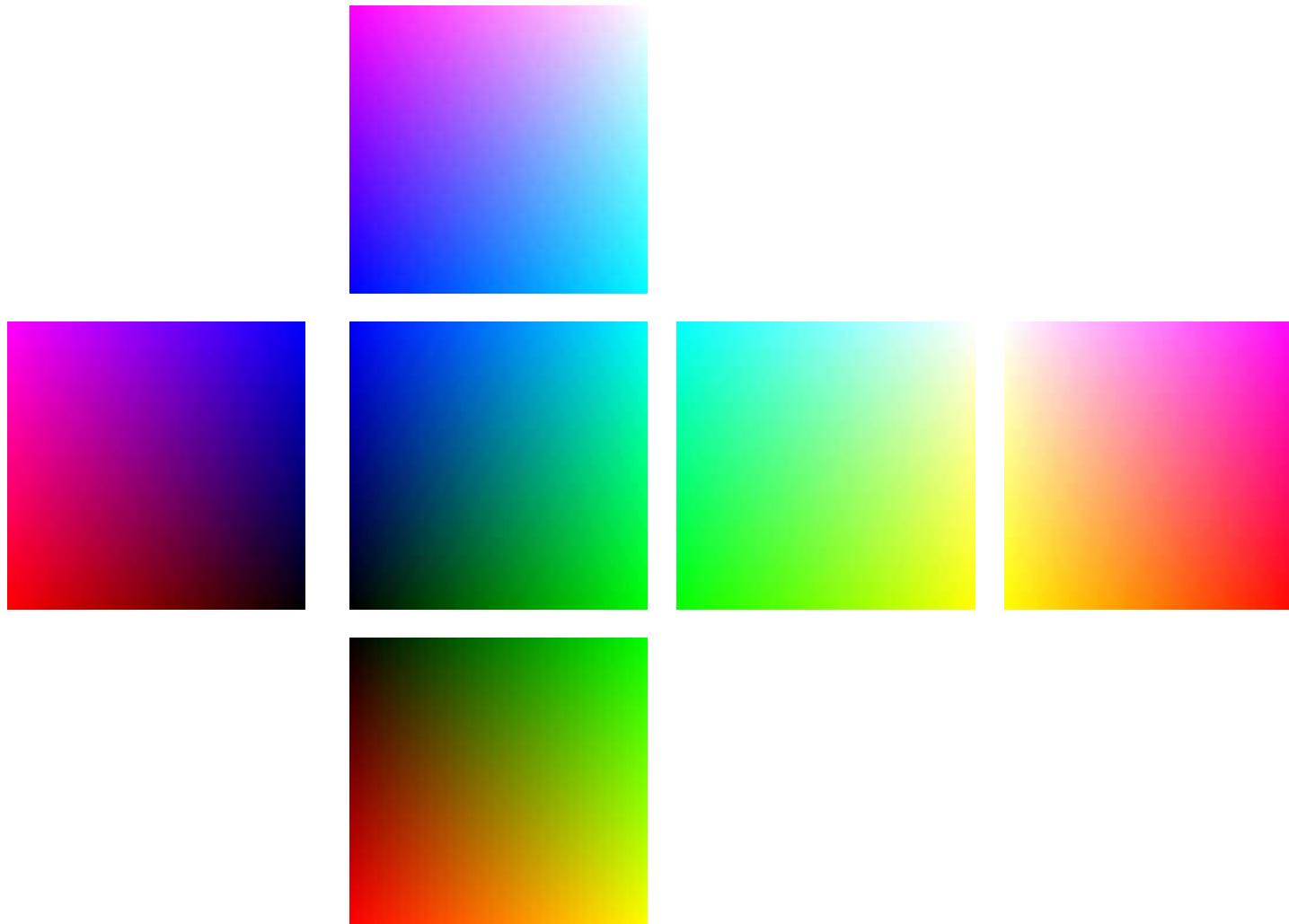
■ 颜色模型——RGB 模型

- RGB颜色模型是三维直角坐标颜色系统中的一个单位正方体
- 在正方体的主对角线上，各原色的量相等，产生由暗到亮的白色，即灰度。 $(0, 0, 0)$ 为黑， $(1, 1, 1)$ 为白，正方体的其他6个角点分别为红、黄、绿、青、蓝和品红

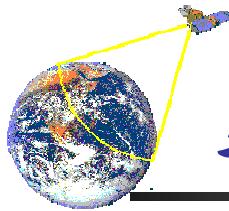




基本概念—图像的颜色



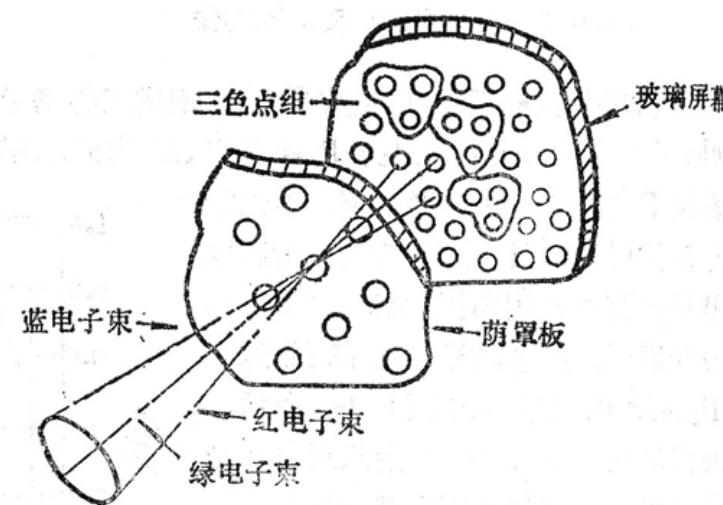
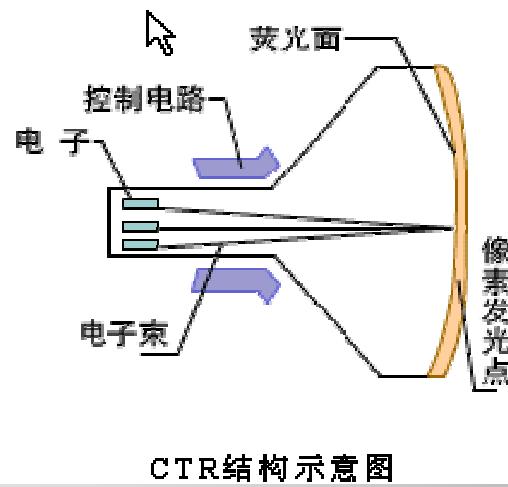
- RGB 模型正方体展开

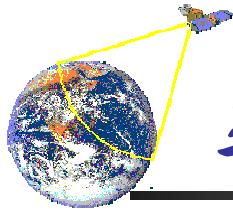


基本概念——图像的颜色

■ 颜色模型——RGB 模型

- RGB颜色模型通常用于彩色阴极射线管和彩色光栅图形显示器。RGB三原色是加性原色
- 利用RGB可产生大量的颜色，例如：RGB灰度级分别为256时，可产生 $2^{24} \approx 16.8 M$ 种颜色
- CRT彩色显示原理



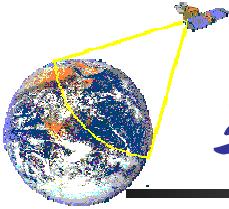


基本概念——图像的颜色

■ 颜色模型——CMY 模型

- CMY为相减混色，它与相加混色的RGB空间正好互补，也即用白色减去RGB空间中的某一色彩值就等于同样色彩在CMY空间中的值
- 由于彩色墨水和颜料的化学特性，用等量的CMY三基色得到的黑色不是真正的黑色，因此在印刷术中常加一种真正的黑色（black ink），所以CMY又写成CMYK 为1则相当于减一个基色

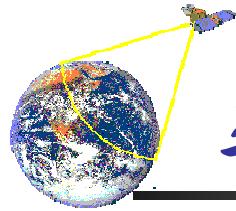
RGB相加混色	CMY相减混色	对应色彩
0 0 0	1 1 1	黑色
0 0 1	1 1 0	蓝色
0 1 0	1 0 1	绿色
0 1 1	1 0 0	青色
1 0 0	0 1 1	红色
1 0 1	0 1 0	品红色
1 1 0	0 0 1	黄色
1 1 1	0 0 0	白色



基本概念——图像的颜色

■ 颜色模型——HSI 模型

- 从人的视觉系统出发，用色调（Hue）、色饱和度（Saturation或Chroma）和亮度（Intensity或Brightness）来描述色彩
- 它比RGB色彩空间更符合人的视觉特性
- 在图像处理和计算机视觉中大量算法都可在HSI色彩空间中方便地使用
- H、S、I可以分开处理而且相互独立
- 在HSI色彩空间可以大大简化图像分析和处理的工作量
- HSI色彩空间和RGB色彩空间只是同一物理量的不同表示法，因而它们之间存在着转换关系



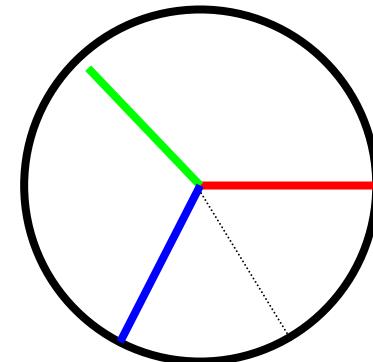
基本概念——图像的颜色

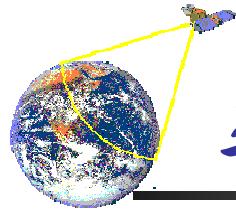
■ 颜色模型——HSI 模型

- I: 表示光照强度或称为亮度，它确定了像素的整体亮度，而不管其颜色是什么。其最亮值为1，0为最暗。



- H: 表示色度，由角度表示（ $0\text{~}360^\circ$ ）。反映了该颜色最接近什么样的光谱波长（既彩虹中的那种颜色） 0° 为红色， 120° 为绿色， 240° 为蓝色。

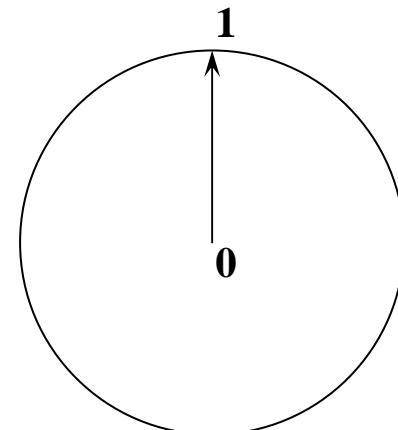


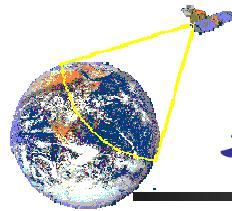


基本概念——图像的颜色

■ 颜色模型——HSI 模型

- S: 表示色饱和度，色饱和度参数是色环的原点到彩色点的半径长度。在环的外围圆周是纯的或称饱和的颜色，其饱和度值为1。在中心是中性（灰）影调，即饱和度为0

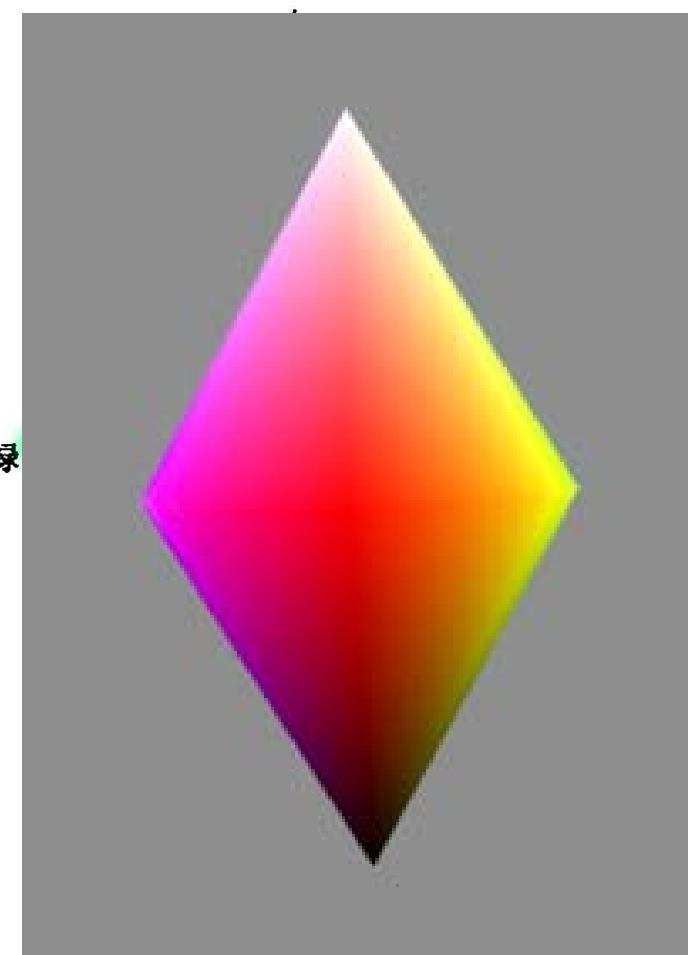
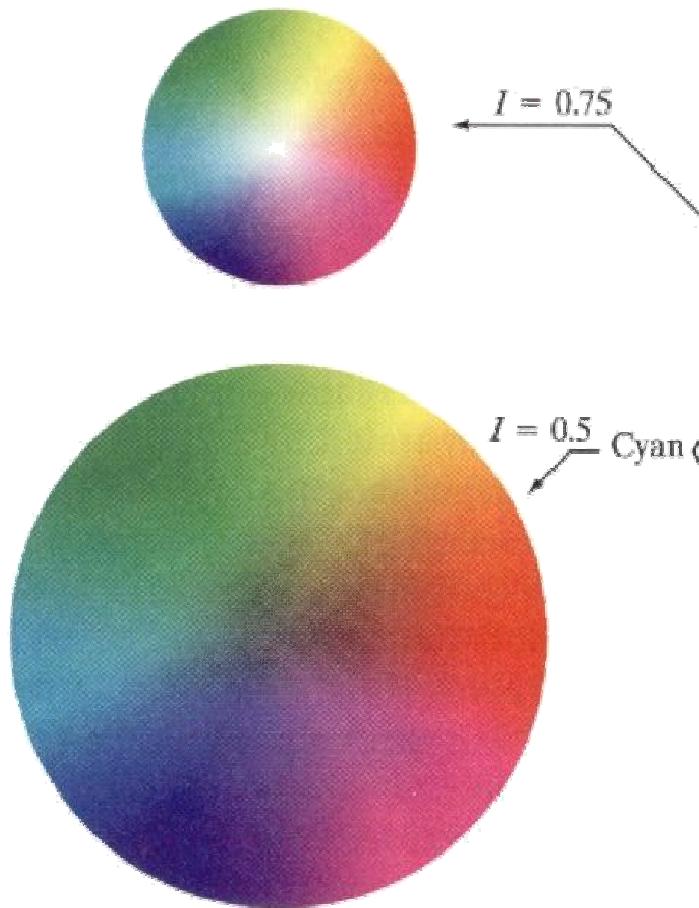


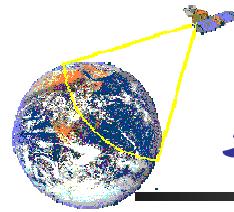


基本概念——图像的颜色

HSI模型表示的颜色空间是一个圆锥体，纵向表示亮度，过亮或过暗的颜色，其色饱和度较低

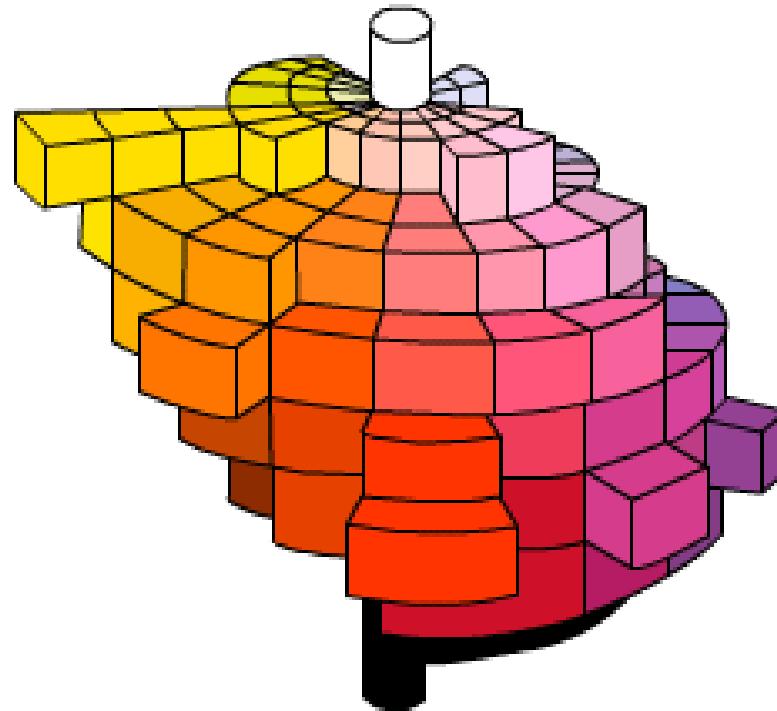
■ 颜色模型——HSI 模型



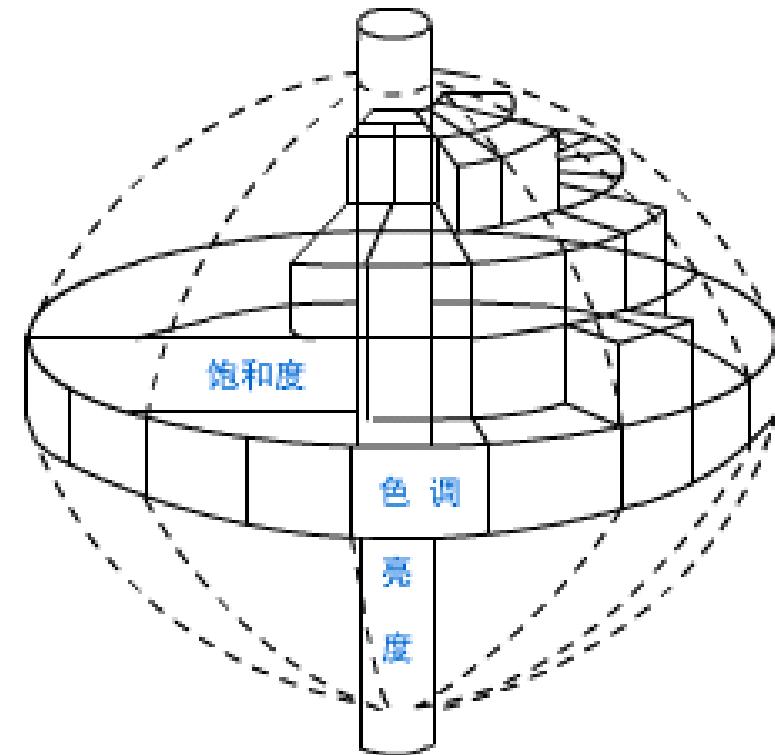


基本概念——图像的颜色

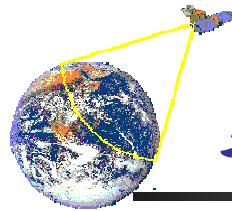
■ 颜色模型——HSI 模型



(A) HSI圆锥空间模型



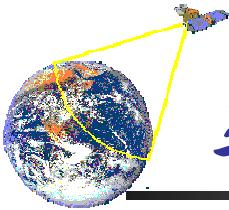
(B) 线条示意图：
圆锥上亮度、色度和饱和度的关系。



基本概念——图像的颜色

■ 颜色模型——HSI 模型

<p>(C) 纵轴表示亮度： 亮度值是沿着圆锥的轴 线度量的，沿着圆锥轴线上的 点表示完全不饱和的颜色，按 照不同的灰度等级，最亮点为 纯白色、最暗点为纯黑色。</p>	<p>(D) 圆锥纵切面： 描述了同一色调的不同 亮度和饱和度关系。</p>	<p>(E) 圆锥横切面： 色调H为绕着圆锥截面度 量的色环，圆周上的颜色为完 全饱和的纯色，色饱和度为穿 过中心的半径横轴。</p>



基本概念—图像的颜色

■ 颜色模型之间的转换

■ $\text{RGB} \rightarrow \text{CMY}$

$$\begin{bmatrix} C \\ Y \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

■ $\text{HSI} \rightarrow \text{RGB}$

$$0 \leq H \leq 120^\circ$$

$$B = I(1 - S)$$

$$R = I \cdot \left[1 + \frac{S \cdot \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right]$$

$$G = 3I - (R + B)$$

■ $\text{RGB} \rightarrow \text{HSI}$

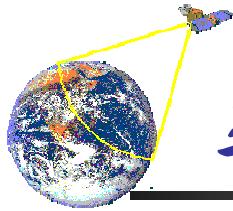
$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{[(R-G)+(R-B)]/2}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right\}$$

$$H = \begin{cases} \theta & B \leq G \\ 360 - \theta & B > G \end{cases}$$

$$S = 1 - \frac{3 \cdot \min(R, G, B)}{R + G + B}$$

$$I = (R + G + B) / 3$$

➤ 其他参见相关书籍



基本概念—图像的颜色

■ 颜色模型的应用

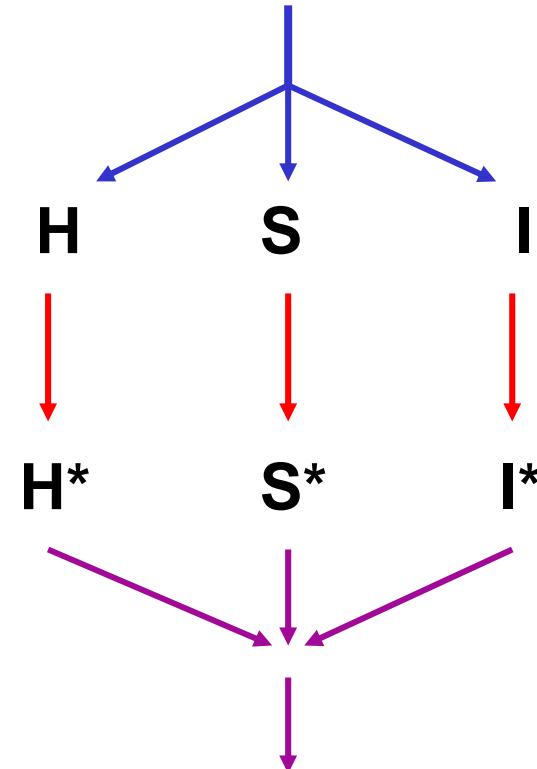
- 色彩调整
- 图像增强
- 图像融合
- :

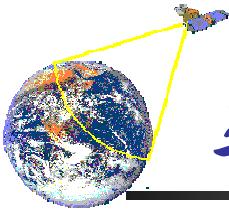
转换

HIS 空间
图像处理

转换

Input image (RGB)





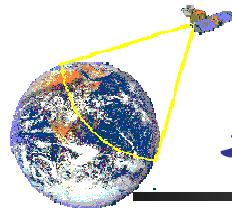
基本概念——图像的颜色

■ 颜色模型的应用——利用 HIS 模型特性消除红眼

- “红眼”——闪光灯照相的结果
- 在 HIS 空间可定义红眼为

$$\begin{aligned} -\pi/4 &< \text{色度} < \pi/4 \\ \text{色饱和度} &> 0.3 \end{aligned}$$

- 算法
 - ✓ 在脸部的特定区域进行色空间转换RGB \rightarrow HIS
 - ✓ 测试每一点像素
 - ✓ 如果: $-\pi/4 < H < \pi/4$ and $S > 0.3$
 - ✓ 则该像素为红眼像素, 使其成为灰色: $S=0$



基本概念—图像的颜色

■ CIE色度图

CIE : 国际照明联合会

- 假定任意颜色的亮度为1，仅考虑色调及色饱和度时，为了简单而又方便地绘出颜色与三基色的关系，采用颜色三角形表示方法
- 三角形的三个顶点分别代表三基色，其内部各点的颜色均为三基色相汇合而形成的色彩
- 为测量方便，进一步将等腰三角形表示为直角三角形，由此形成CIE色度图

不考虑亮度，三基色在圆周上3点

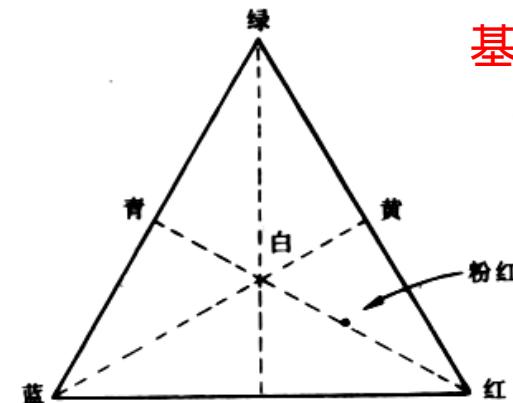


图 2-35 相加混色彩色三角形

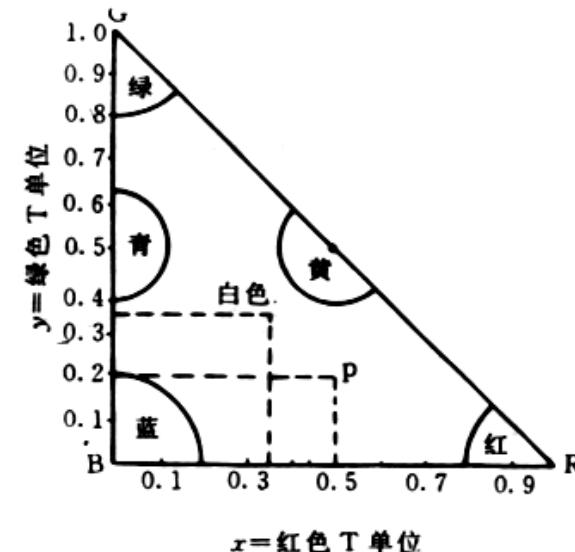
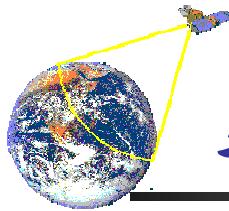


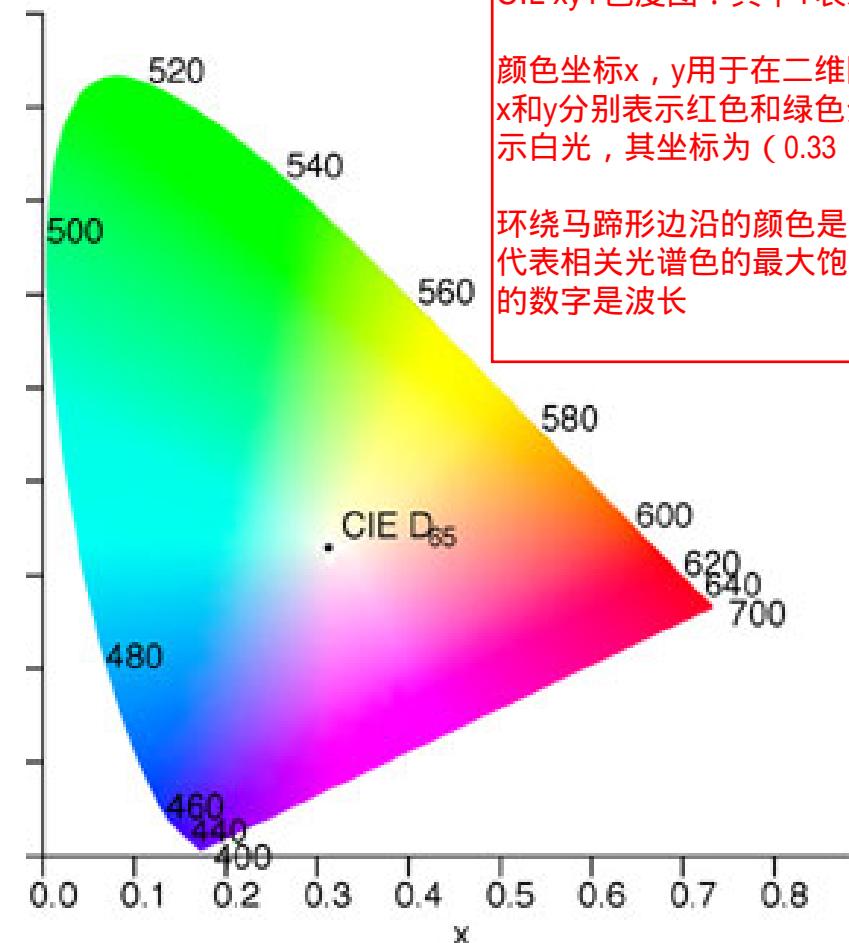
图 2-36 直角彩色三角形

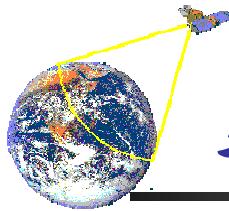


基本概念—图像的颜色

■ CIE色度图

- 假设存在三种过饱和色R、G、B，位于直角三角形的三个顶点
- 所有的色谱(可见光谱中包含的一系列单色)都位于马蹄形曲线上
- 在马蹄形内部包含了用物理方法能实现的所有彩色
- 马蹄形的底部为非谱色(各种紫红色，这些彩色不能作为单色出现在光谱上)

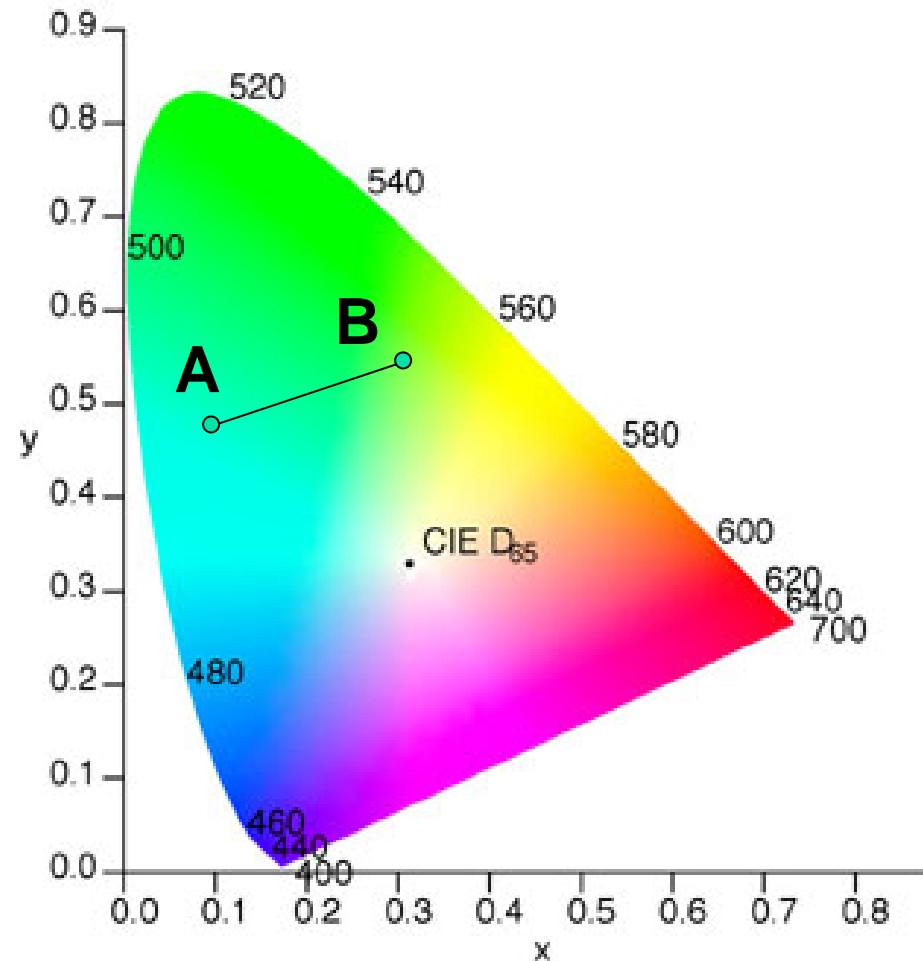


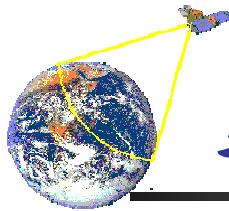


基本概念—图像的颜色

■ CIE色度图

- 给定两个色点A、B，沿着AB连线上各点的颜色均可由AB两点颜色的不同混合比得到

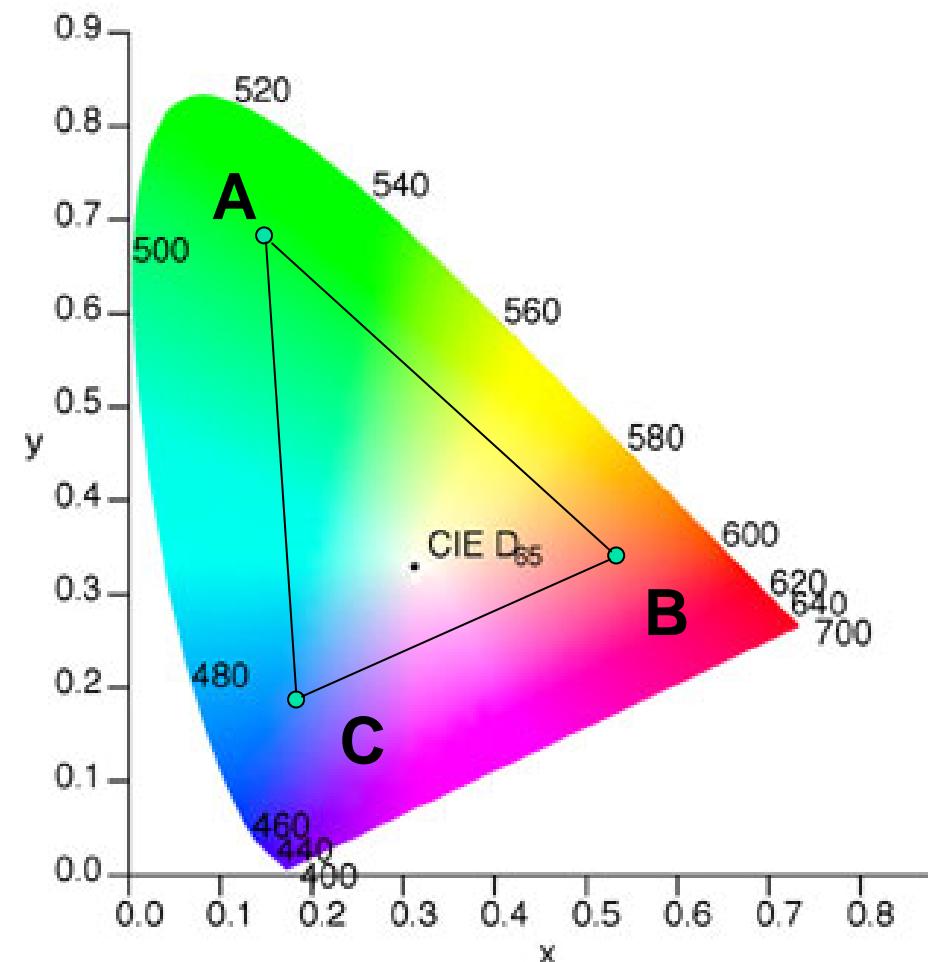


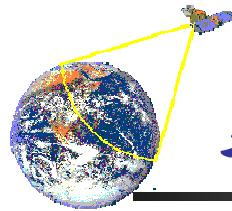


基本概念—图像的颜色

■ CIE色度图

- 进一步扩展为三个点A、B、C，则ABC围成的三角形范围内的颜色，均可由ABC三点颜色的不同混合比得到
- A、B、C点颜色即称之为基色 **子颜色空间**
- RGB颜色模型构成的颜色空间是CIE原色空间的一个真子集
- 不同电视制式基色

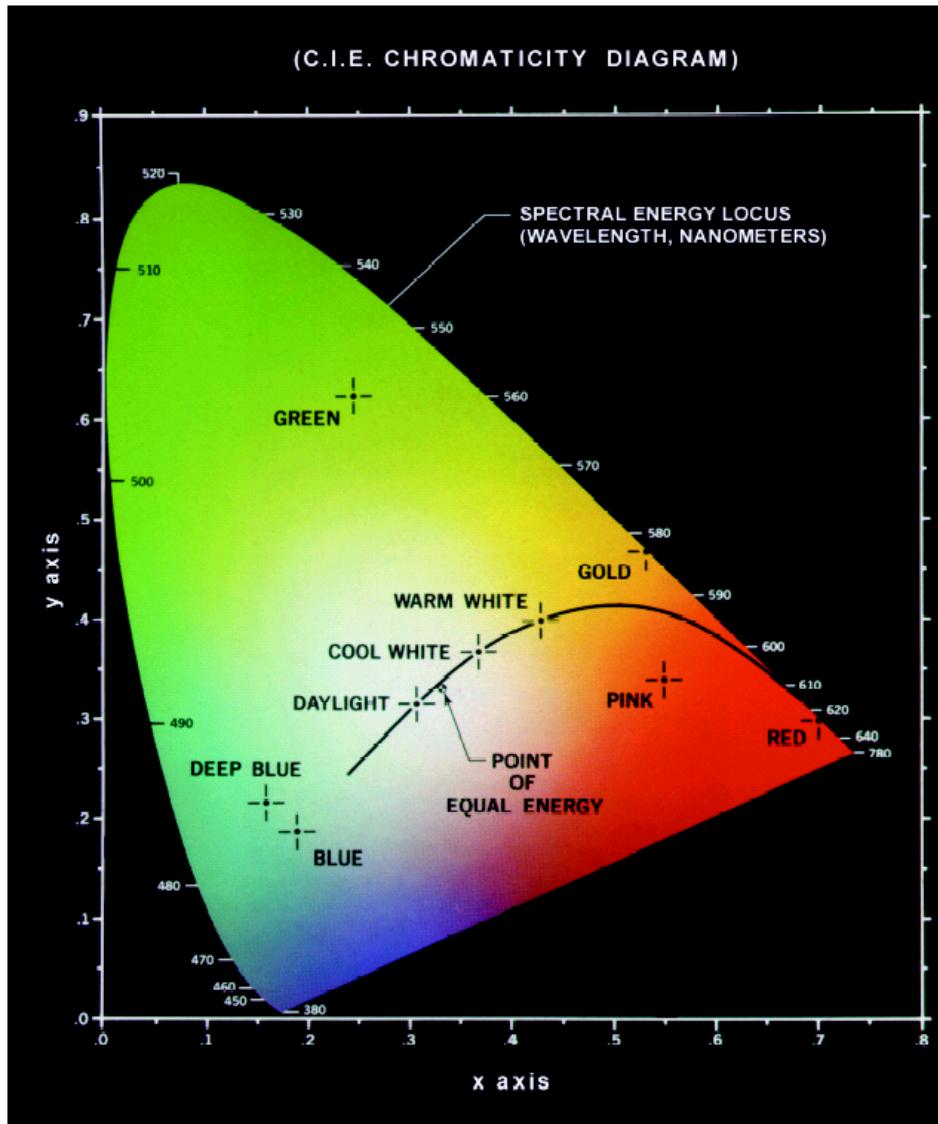


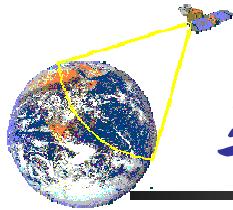


基本概念—图像的颜色

■ CIE色度图

- CIE色度图中CIE D₆₅点为标准白光，称之为标准光源；
- CIE规定三种类型标准光源
 - ✓ A光源：绝对温度为2845K全辐射体的辐射光
 - ✓ B光源：绝对温度为4870K全辐射体的辐射光
 - ✓ C光源：绝对温度为6740K全辐射体的辐射光
- 各种光源的色温特性





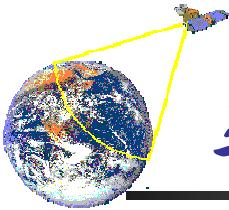
基本概念——图像的颜色

■ 伪彩色图像

- 人类可以分辨比灰度层次更多的颜色种类
- 将灰度图像变换为彩色图像——伪彩色图像
- 用伪彩色描述灰度图象的方法：
 - ✓ 建立颜色映射表：

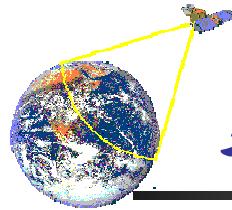
灰度图像亮度值 I \longrightarrow 彩色图像 R、G、B 值

- ✓ 新图像中对应位置的像素用彩色RGB值代替
- 关键考虑因素
 - ✓ 颜色应具有一定的意义，有利于人眼识别和解译



基本概念—图像的描述

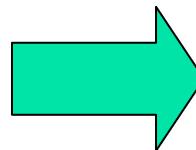
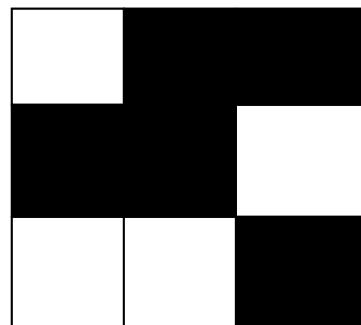
- 传统图像的描述方式与数据结构
 - 矩阵（matrices）
 - ✓ 黑白、灰度、彩色、.....
 - 链表（chains）
 - 拓扑结构（Topological data structures）
 - 关系结构（Relational structures）
 -



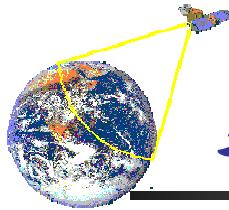
基本概念——图像的描述

矩阵——黑白图像（二值图像）

指图像的每个像素只能是黑或者白，没有中间的过渡，故又称为二值图像。2值图像的像素值为0、1。



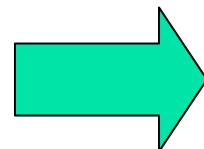
$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$



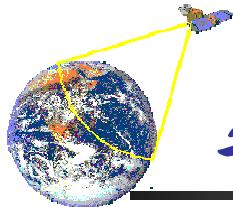
基本概念——图像的描述

矩阵——灰度图像

- 指图像中每个像素的信息由一个量化的灰度级来描述，没有彩色信息。
- 灰度图像像素的灰度级通常为 **8 Bits**，即0~255。“0”表示纯黑色，“255”表示纯白色。
- 现实图像的类型基本上可表示为灰度图像，其像素灰度级常用的为 **8 Bits**，但不断的向 **10 Bits**、**12 Bits**、**16 Bits**发展。



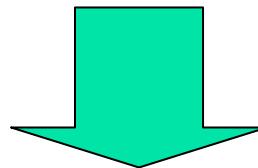
$$I = \begin{bmatrix} 0 & 150 & 200 \\ 120 & 50 & 180 \\ 250 & 220 & 100 \end{bmatrix}$$



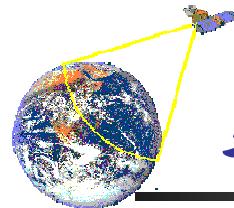
基本概念——图像的描述

矩阵——彩色图像

通常彩色图像是指每个像素的信息由**RGB**三原色构成的图像，其中**RGB**是由不同的灰度级来描述的。



$$R = \begin{bmatrix} 255 & 240 & 240 \\ 255 & 0 & 80 \\ 255 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad G = \begin{bmatrix} 0 & 160 & 80 \\ 255 & 255 & 160 \\ 0 & 255 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 80 & 160 \\ 0 & 0 & 240 \\ 255 & 255 & 255 \end{bmatrix}$$



基本概念—图像的描述

链表——描述目标物体的边界

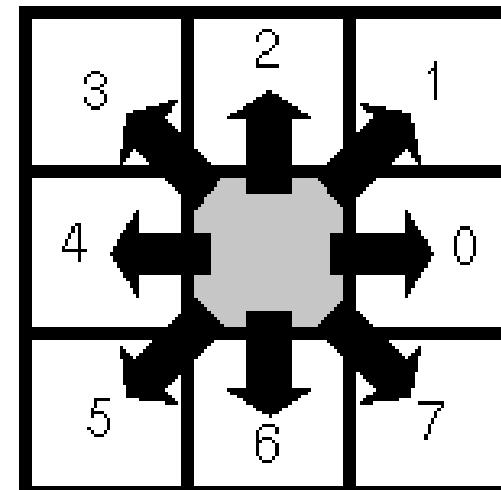
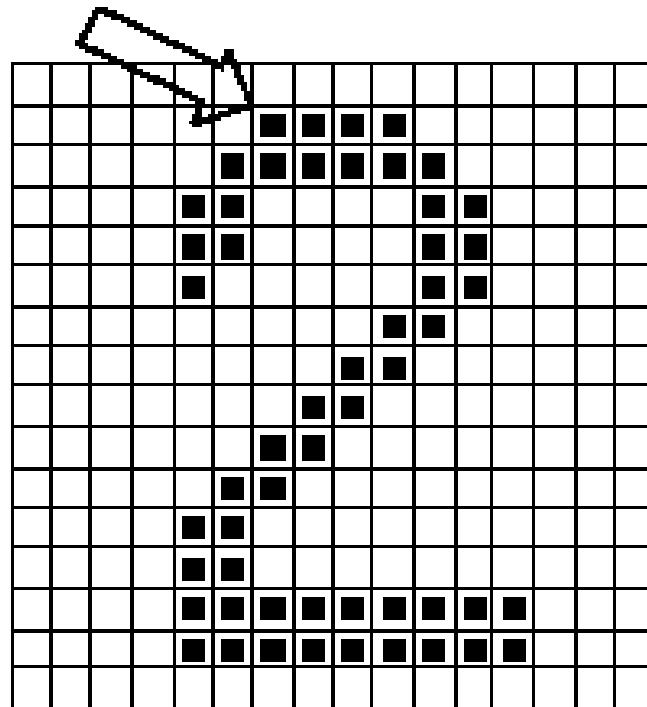
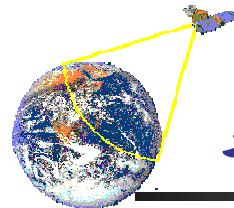


Figure 3.1 An example chain code; the reference pixel is marked by an arrow:
000077665555556600000000644444442221111112234445652211.



基本概念——图像的描述

拓扑结构——描述一组图形及其相互关系

□

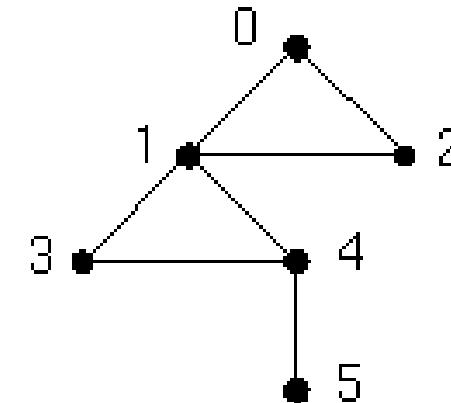
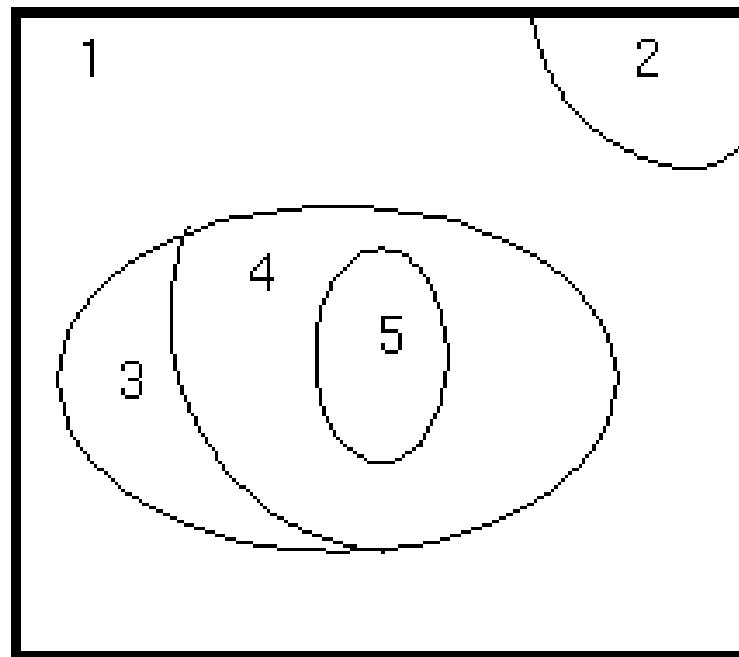
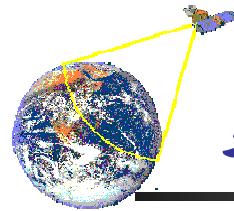


Figure 3.3 An example region adjacency graph.



基本概念——图像的描述

关系结构——描述一组物体及其相互关系

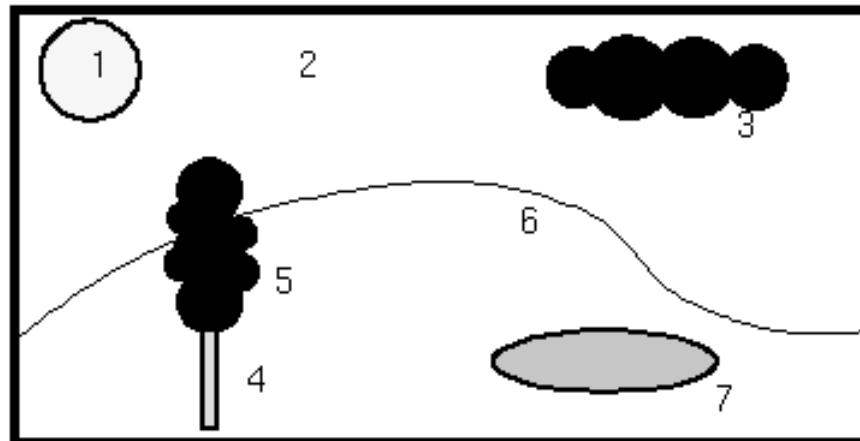
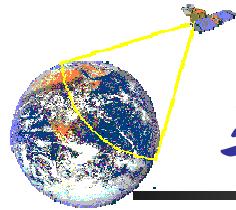


Figure 3.4 Description of objects using relational struc

No.	Object name	Colour	Min. row	Min. col.	Inside
1	sun	white	5	40	2
2	sky	blue	0	0	-
3	cloud	grey	20	180	2
4	tree trunk	brown	95	75	6
5	tree crown	green	53	63	-
6	hill	light green	97	0	-
7	pond	blue	100	160	6

Table 3.1 Relational table



基本概念—图像的矩阵特性

- 距离—描述图像中像素之间的距离
 - 两个象素 (i,j) 和 (h,k) 之间的距离定义为：
 - ✓ 欧几里得距离 (Euclidean distance) :

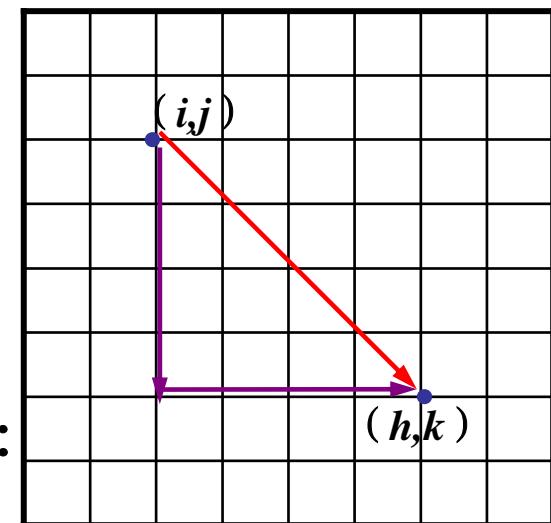
$$D_E((i,j), (h,k)) = \sqrt{(i-h)^2 + (j-k)^2}$$

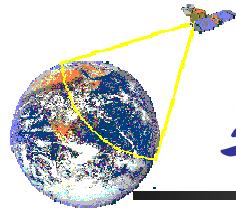
✓ 小区距离 (city block distance) :

$$D_4((i,j), (h,k)) = | i - h | + | j - k |$$

✓ 棋盘距离 (chessboard distance) :

$$D_8((i,j), (h,k)) = \max\{| i - h |, | j - k | \}$$



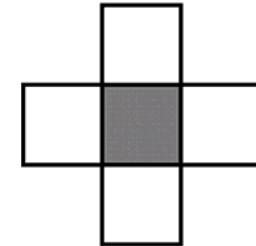


基本概念—图像的矩阵特性

■ 像素的邻域—描述与像素相邻的其他像素

➤ 4邻域— $N_4(p)$

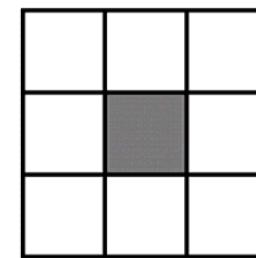
$(x+1,y), (x-1,y), (x,y+1), (x,y-1)$



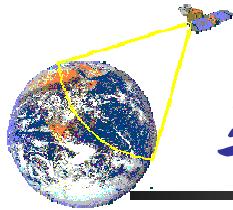
➤ 8邻域— $N_8(p)$

$(x+1,y), (x-1,y), (x,y+1), (x,y-1)$

$(x+1,y+1), (x-1,y+1), (x-1,y-1), (x+1,y-1)$



➤ 区域—一组连续相邻的象素集合



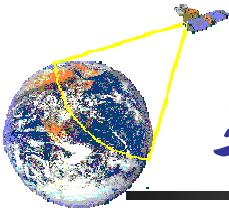
基本概念—图像的统计特性

- 均值 (Mean)

$$\mu = \frac{\sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} f(x, y)}{N * M}$$

- 方差 (VARIANCE)

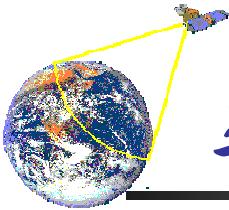
$$\sigma^2 = \frac{\sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (f(x, y) - \mu)^2}{N * M}$$



基本概念—图像文件格式

- 计算机中存储图像数据的方式

- 图像数据以计算机数据文件方式存储
- 像素字节的安排方式与操作系统有关： windows、 unix、 mac、
- ✓ 8 bits: 基本相同
- ✓ 16 bits: 高、低字节的前后顺序不同
- 编码方式：无压缩、无损压缩、有损压缩
- 常用的图像文件格式：
 - ✓ 裸数据存储： RAW
 - ✓ 格式化数据存储： BMP、 JPEG、 TIFF、 GIF、



基本概念—图像文件格式

■ 图像数据的裸格式存储

- 常用于遥感图像数据的存储
- 基本格式：（三波段图像为例）
 - ✓ BIP：波段像素交叉格式

波段1像素1	波段2像素1	波段3像素1	波段1像素2	波段2像素2
--------	--------	--------	--------	--------

✓ BIL：波段行交叉格式

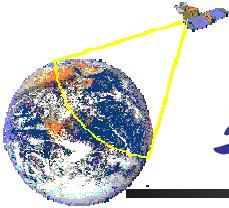
波段1第1行	波段2第1行	波段3第1行	波段1第2行	波段2第2行
--------	--------	--------	--------	--------

✓ BSQ：波段景交叉格式

波段1	波段2	波段3
-----	-----	-----

图像信
息头

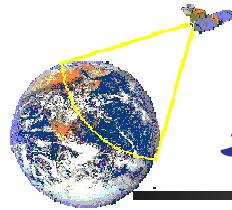
图像数
据



基本概念—图像文件格式

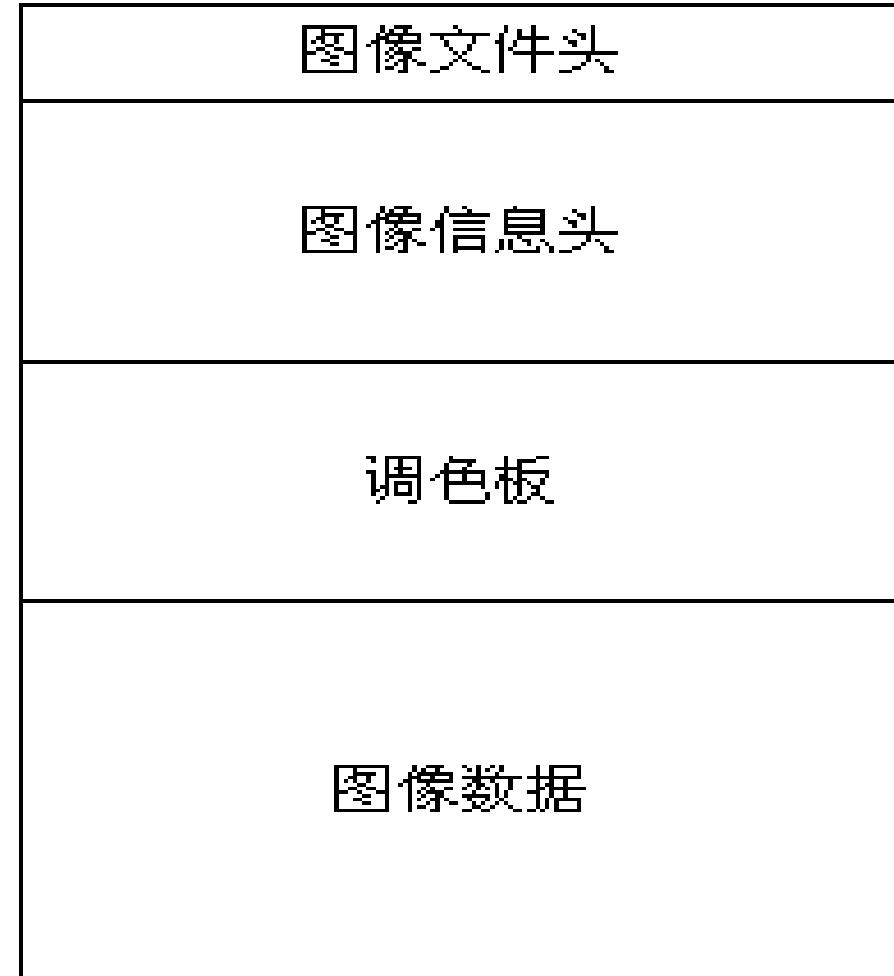
- 图像数据的格式化存储

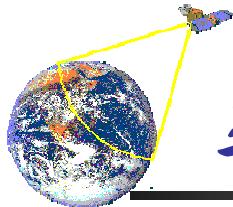
- 像素颜色深度——1, 2, 4, 8, 16, 24 bits/pixel
- 压缩方式: LZW、rle、CCITT3, CCITT4、JPEG、JPEG2000、.....
- **BMP**文件格式:
 - ✓ Windows操作系统的标准文件格式
 - ✓ 虽然大部分**BMP**文件对图像数据不压缩, 但它本身可支持图像压缩, 如rle格式(行程长度编码, runlength encoding) 和LZW压缩格式等



基本概念—图像文件格式

- 图像数据的格式化存储
 - **BMP**文件结构

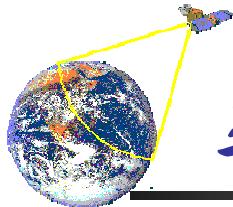




基本概念—图像文件格式

➤ BMP图像文件头

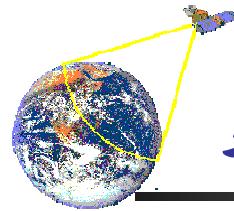
```
typedef struct tagBITMAPFILEHEADER {  
    WORD      bfType;  
    DWORD     bfSize;  
    WORD      bfReserved1;  
    WORD      bfReserved2;  
    DWORD     bfOffBits;  
} BITMAPFILEHEADER, *PBITMAPFILEHEADER;
```



基本概念—图像文件格式

► BMP图像信息头（1）

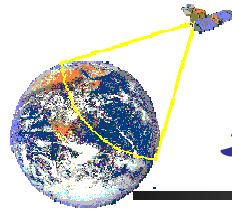
BitmapHeaderSize	4 bytes	位图信息头(Bitmap Info Header)的长度，用来描述位图的颜色、压缩方法等。
Width	4 bytes	位图的宽度，以像素为单位
Height	4 bytes	位图的高度，以像素为单位
Planes	4 bytes	位图的位面数(该数值总为1)



基本概念—图像文件格式

➤ BMP图像信息头 (2)

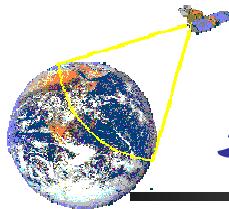
Bits/Pixel	<p>每个像素的位数</p> <p>1 - 单色位图 (实际上可有两种颜色，缺省情况下是黑色和白色。你可以自己定义这两种颜色)</p> <p>4 - 16 色位图</p> <p>8 - 256 色位图</p> <p>16 - 16bit 高彩色位图</p> <p>24 - 24bit 真彩色位图</p> <p>32 - 32bit 增强型真彩色位图</p>
Compression	<p>压缩说明：</p> <p>0 - 不压缩(使用 BI_RGB 表示)</p> <p>1 - RLE8-使用 8 位 RLE 压缩方式(用 BI_RLE8 表示)</p> <p>2 - RLE4 使用 4 位 RLE 压缩方式(用 BI_RLE4 表示)</p> <p>3 - Bitfields-位域存放方式(用 BI_BITFIELDS 表示)</p>



基本概念—图像文件格式

➤ BMP图像信息头（3）

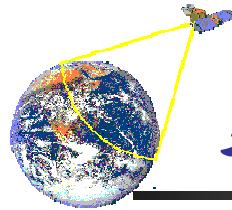
Bitmap Data Size		用字节数表示的位图数据的大小。 该数必须是 4的倍数
Hresolution		用像素/米表示的水平分辨率
Vresolution		用像素/米表示的垂直分辨率
Colors		位图使用的颜色数。如 8-比特/像素 表示为 100h 或者 256。
Important Colors		指定重要的颜色数。当该域的值等 于颜色数时（或者等于 0 时），表 示所有颜色都一样重要。



基本概念—图像文件格式

➤ BMP图像信息结构

```
typedef struct tagBITMAPINFOHEADER {  
    DWORD    biSize;  
    LONG     biWidth;  
    LONG     biHeight;  
    WORD     biPlanes;  
    WORD     biBitCount  
    DWORD    biCompression;  
    DWORD    biSizeImage;  
    LONG     biXPelsPerMeter;  
    LONG     biYPelsPerMeter;  
    DWORD    biClrUsed;  
    DWORD    biClrImportant;  
} BITMAPINFOHEADER, *PBITMAPINFOHEADER;
```

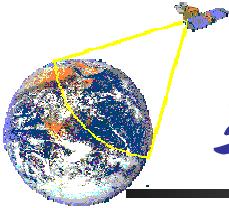


基本概念—图像文件格式

➤ 调色板和图像数据

包含N个调色板表项，图像数据中的每个像素存储一个索引指向N个调色板之一。N：颜色数

调色板数据	Palette	$N * 4$ byte	调色板规范。对于调色板中的每个表项，这4个字节用下述方法来描述RGB的值： 1字节用于蓝色分量 1字节用于绿色分量 1字节用于红色分量 1字节用于填充符(设置为0)
图像数据	Bitmap Data		该域的大小取决于压缩方法及图像的尺寸和图像的位深度，它包含所有的位图数据字节，这些数据可能是彩色调色板的索引号，也可能是实际的RGB值，这将根据图像信息头中的位深度值来决定。



基本概念—图像文件格式

■ 其它图像数据格式特点

➤ GIF

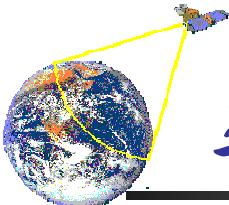
- ✓ 采用复杂的LZW编码方式
- ✓ 一个GIF文件可以存储多幅图像
- ✓ 带有色彩表（全局、局部色彩表）
- ✓ 支持图像定序显示或覆盖
- ✓ 可以错行存放
- ✓ 支持文本覆盖

无损压缩的图像存储格式



➤ JPEG

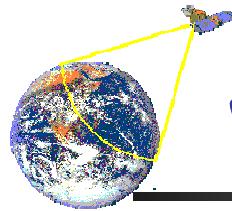
- ✓ 静止图像压缩
- ✓ 采用有损编码方式
- ✓ 是一种变换编码
- ✓ 对高频、低频信号区别对待



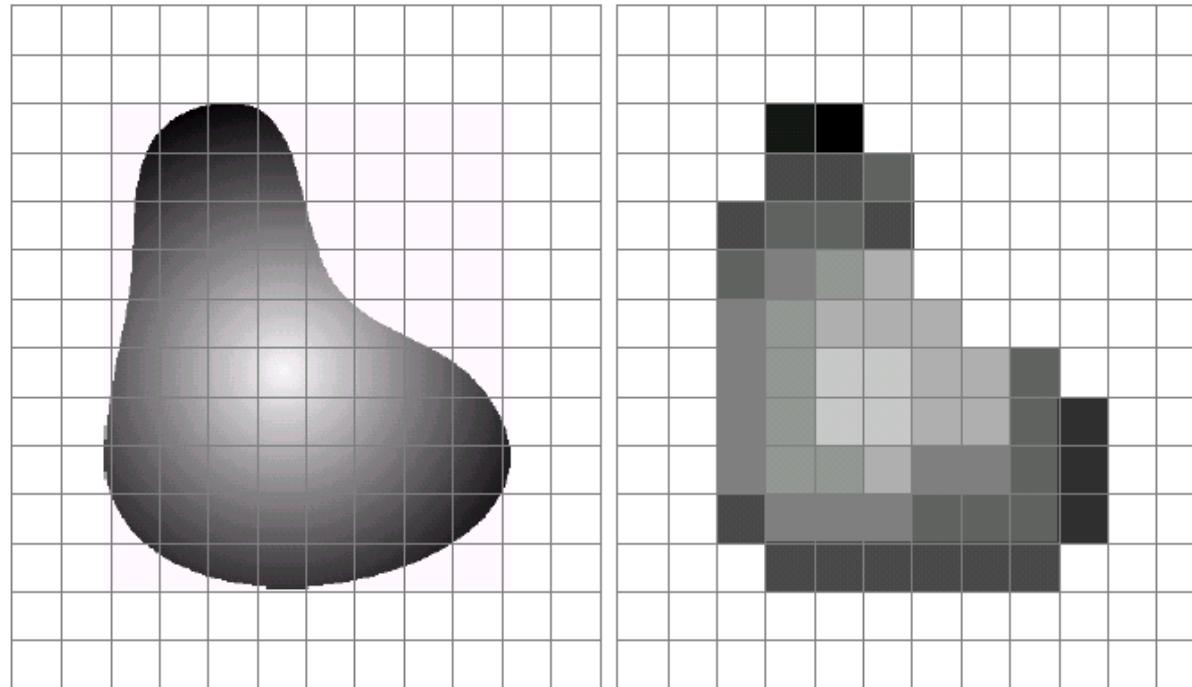
基本概念—图像文件格式

■ 其它图像数据格式特点

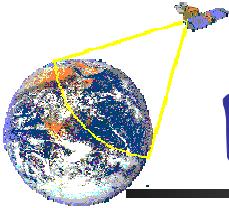
- TIFF是Tagged Image File Format的缩写，是一个广为应用的光栅图像文件格式，是一个非常稳定的文件格式，有很长的应用历史
- 版本历史：1980年V1、V2 ➔ 1995年V6
- GeoTiff：2000年160多个遥感、GIS、测绘等机构联合制定，用与遥感及相关数据的交换
- TIFF特点
 - ✓ 支持从高端到低端的设备
 - ✓ 可扩展性强，支持公共和私用的标记结构
 - ✓ 支持各种压缩格式
 - ✓ 有公共软件库支持（支持各种操作系统）
 - ✓ 多种扩展功能：二值图、灰度图、调色板、真彩色、多波段、其他扩展



图像数字化—图像的采样



- 连续的图像信号先要在空间上进行离散化后才能被计算机处理
- 为了达到对原来连续图像信号较好的近似，需要多大的采样率？



图像数字化——图像的采样

一维连续信号的采样

在工程中的许多信号，实际上都是连续信号，或者称为连续时间函数，记为 $x(t)$ ， t 的取值是从 $-\infty$ 连续变化到 $+\infty$ 。但是，用计算机处理这些信号，必须首先对连续信号进行采样，即按一定的时间间隔 T_s 进行取值：

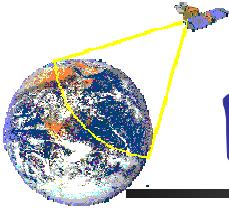
$$x_d(n) = x(nT_s), \quad n = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$$

称 T_s 为采样间隔，称 $x_d(n)$ 为离散信号或时间序列。

连续信号 $x(t)$ 和频谱 $X(f)$ 的具体关系为：

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) e^{j2\pi ft} df$$



图像数字化——图像的采样

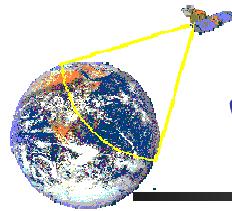
■ Nyquist条件

一般情况下连续信号不可能由离散信号恢复出来。如果能完全恢复出，频谱和采样间隔必须满足以下条件：

$$\left\{ \begin{array}{l} X(f) \text{有截频 } f_c, \text{ 即当 } |f| \geq f_c \text{ 时, } X(f) = 0; \\ T_s \leq \frac{1}{2f_c} \text{ 或 } f_c \leq \frac{1}{2T_s} \text{ 或 } 2f_c \leq f_s \end{array} \right.$$

称为一维空间采样的Nyquist条件。

如果信号不是有限带宽信号，采样频率或采样间隔不满足Nyquist条件，就会产生混叠现象（aliasing）

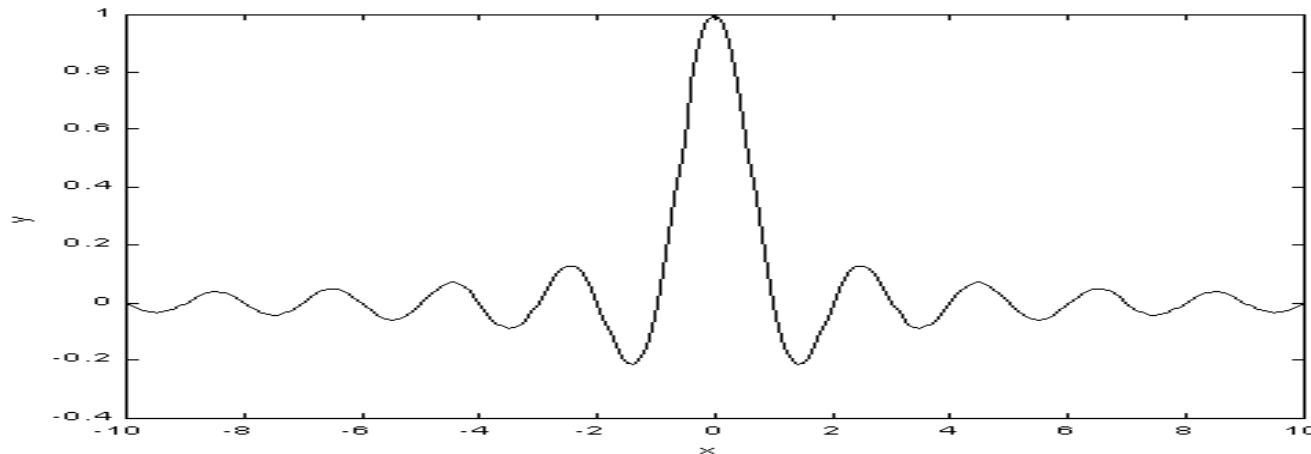


图像数字化—图像的采样

- 在满足Nyquist条件下，从离散信号 $x(nT_s)$ 可恢复连续信号 $x(t)$ ：

$$\text{sinc}(x) = \sin x / x$$

$$\therefore x(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} x(nT_s) \sin c\left(\frac{\pi}{T_s}(t - nT_s)\right)$$



一维sinc函数图形

抽样定理

抽样定理：

模拟信号数字化的基础，针对时间

解决问题：对连续时间信号如何抽样还能重建原始信号。量化针对抽样值，量化必然引起误差，误差大小可控

低通抽样定理：

$$T_s = 1/f_s$$

连续信号 $x(t)$ 带宽限制在 $(0, f_H)$ ，如果抽样频率 f_s 大于或等于 $2f_H$ ，则可由抽样序列无失真的恢复信号 $x(t)$

抽样定理（续）

定理证明：

设信号 $x(t)$ 的频谱为 $X(\omega)$, $X(\omega) \in [0, \omega_H]$

抽样脉冲序列为 $\delta_T(t)$, 抽样后信号为 $x_s(t)$, 有:

$$x_s(t) = x(t)\delta_T(t)$$

而 $\delta_T(t) \leftrightarrow \frac{2\pi}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\omega_s) = \omega_s \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\omega_s)$

抽样定理 (续)

$$\begin{aligned}\text{抽样后信号频谱 } X_s(\omega) &= \frac{1}{2\pi} [X(\omega) * \delta_T(\omega)] \\ &= \frac{1}{2\pi} \left[X(\omega) * \omega_s \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\omega_s) \right] \\ &= \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(\omega - n\omega_s)\end{aligned}$$

将信号频谱无限延拓

上式表明，对信号抽样相当于将信号频谱 $X(\omega)$ 搬移到 $0, \pm\omega_s, \pm 2\omega_s, \dots$ 等处。

如果 $\omega_s \geq 2\omega_H$ ，或 $2\pi f_s \geq 4\pi f_H \rightarrow f_s \geq 2f_H$

抽样定理 (续)

于是信号不会混叠 (Aliasing)，可无失真恢复信号 $x(t)$

内插公式

由抽样函数 $X_s(\omega)$ 恢复 $X(\omega)$ 的过程：

用截止频率为 ω_H 的 LPF 从 $X_s(\omega)$ 中滤出原始信号 $X(\omega)$

设理想 LPF 的传递函数为 $H(\omega)$ ，即

$$X_s(\omega)H(\omega) = \frac{1}{T_s} X(\omega)$$

或 $X(\omega) = T_s X_s(\omega) H(\omega)$

抽样定理 (续)

$$X_s(\omega) \leftrightarrow x_s(t) = x(t)\delta_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_s)\delta(t-nT_s)$$

对于理想 LPF $H(\omega)$, 有:

$$H(\omega) \leftrightarrow h(t) = \frac{\omega_H}{\pi} S_a(\omega_H t)$$

其中 $S_a(\bullet)$ 为抽样函数, $\sin c(x) = \sin x/x$

$$\text{进一步, } x(t) = T_s x_s(t) * \frac{\omega_H}{\pi} S_a(\omega_H t)$$

$$= \frac{T_s \omega_H}{\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_s) S_a[\omega_H(t - nT_s)]$$

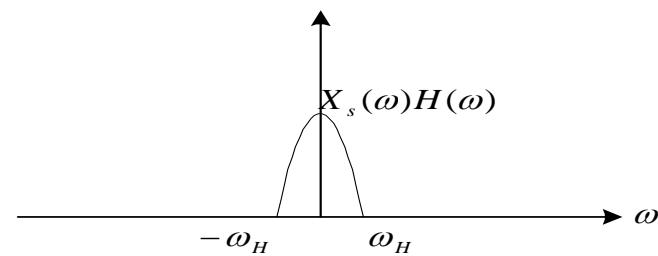
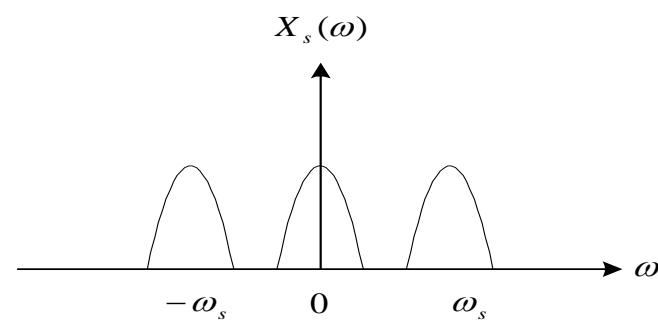
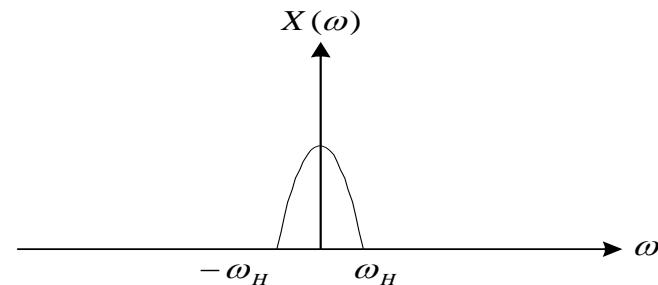
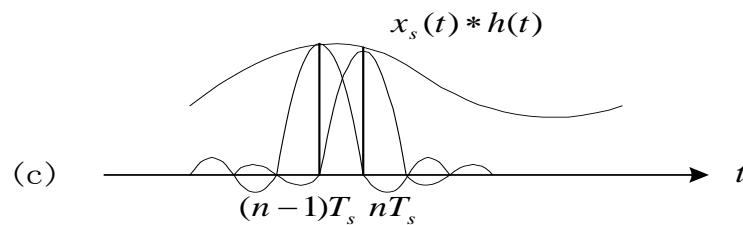
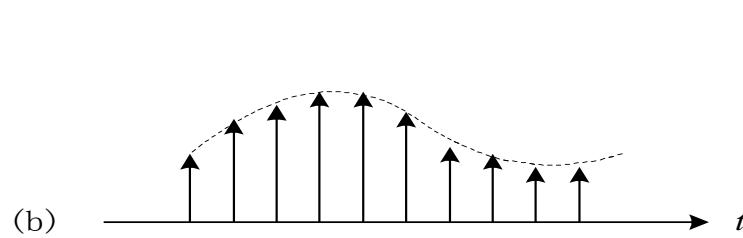
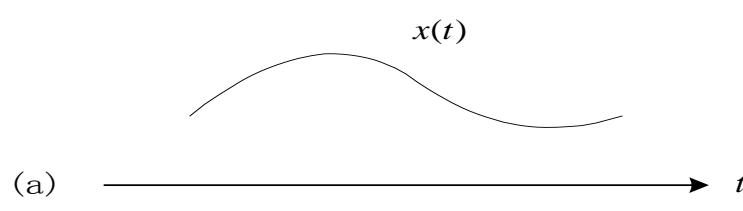
抽样定理 (续)

注意到 $T_s = \frac{2\pi}{\omega_s} = \frac{2\pi}{2\omega_H} = \frac{\pi}{\omega_H}$, $\frac{T_s \omega_H}{\pi} = 1$

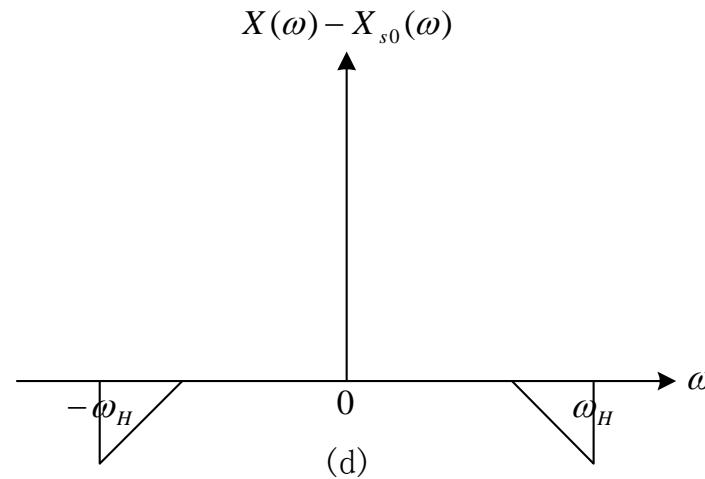
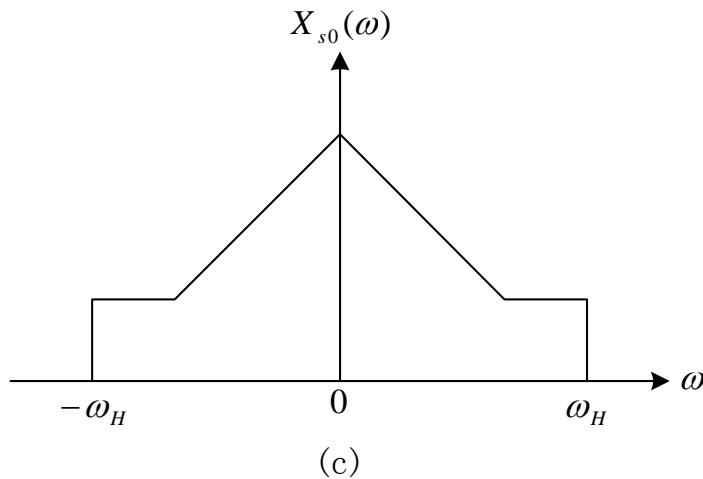
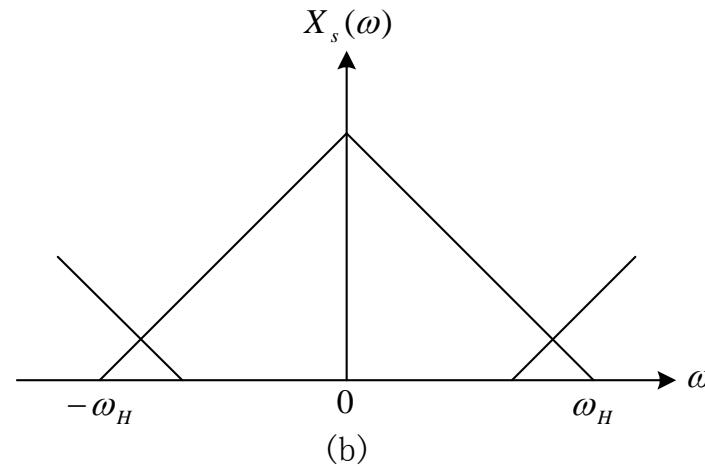
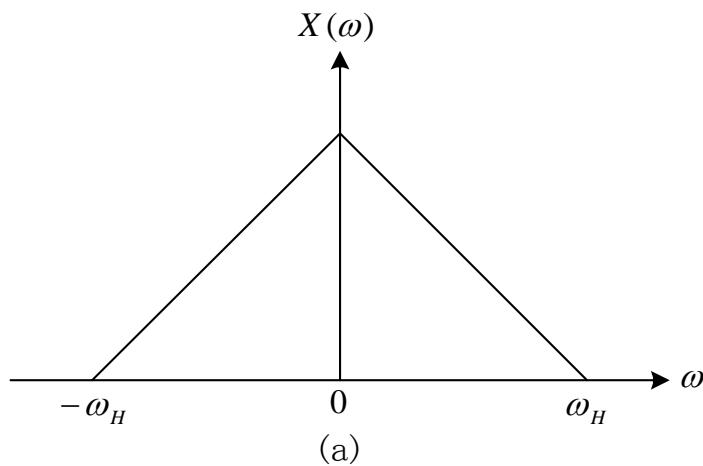
$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_s) S_a[\omega_H(t - nT_s)]$$

结论：任何一带宽有限的信号 $x(t)$ 可以展成以抽样函数 $S_a(x)$ 为基本信号的无穷级数，各分量的系数是原信号在相应抽样时刻 $t = nT_s$ 上的抽样值

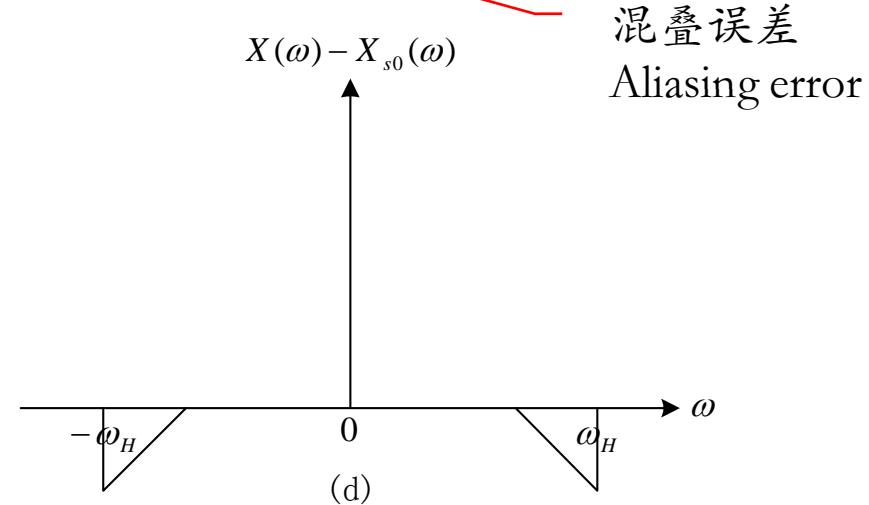
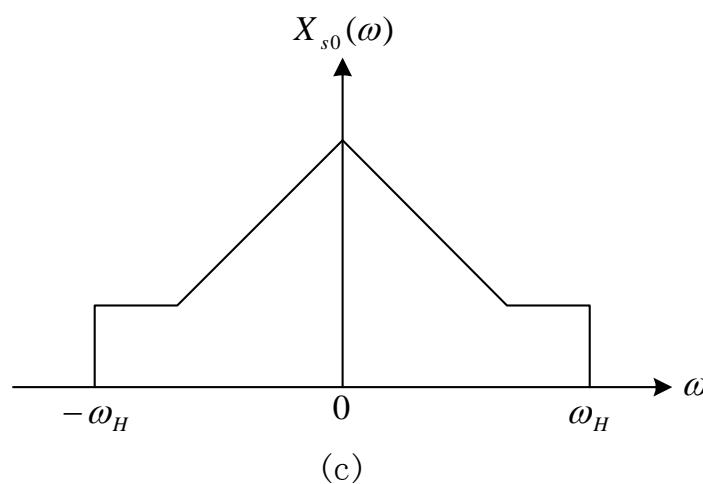
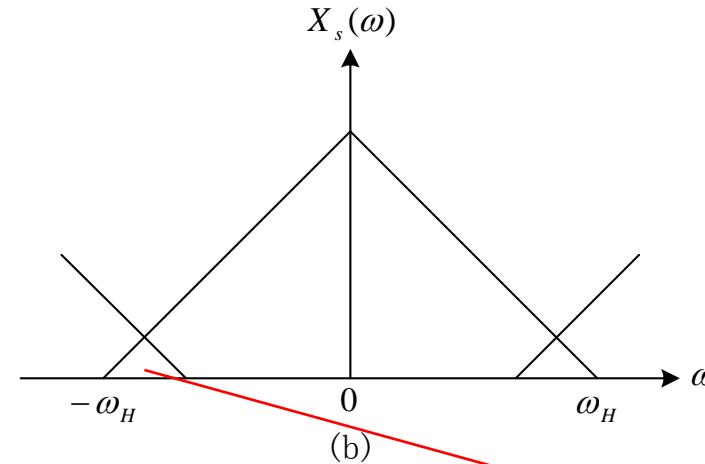
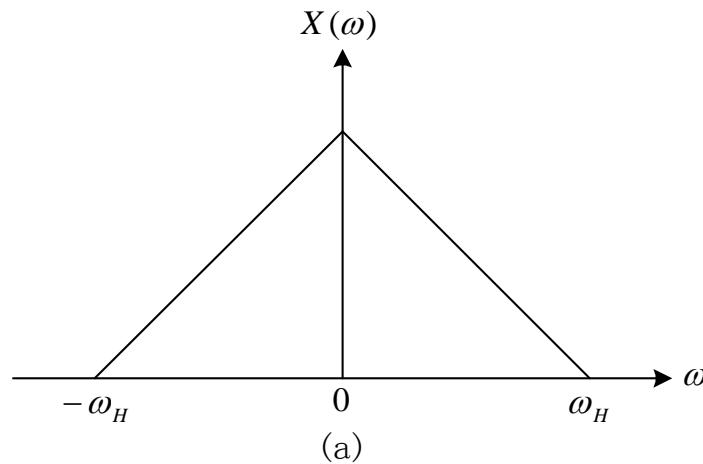
抽样定理 (续)

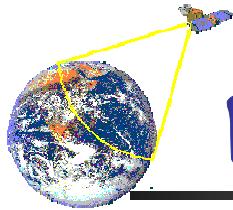


抽样定理 (续)



抽样定理 (续)





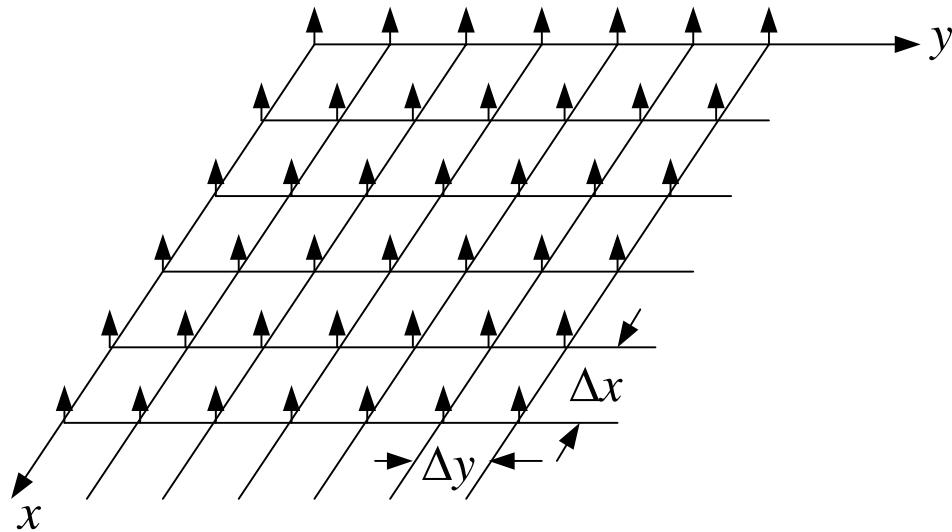
图像数字化——图像的采样

设图像 $f(x, y)$ 是一连续二维信号，其空间频谱 $F(f_x, f_y)$ 在 x 方向具有截止频率 f_{xc} ，在 y 方向具有截止频率 f_{yc} 。所谓采样是对 $f(x, y)$ 乘以空间采样函数：

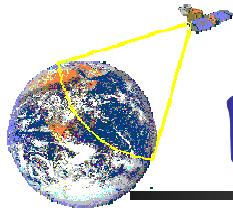
$$s(x, y) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \delta(x - i\Delta_x, y - j\Delta_y)$$

式中 Δ_x 和 Δ_y 为 x 、 y 两个方向的采样间隔，上式为脉冲函数 $\delta(x, y)$ 沿 x 、 y 两个方向的展开。

二维连续 图像信号 的采样



二维采样函数的图形表示



图像数字化——图像的采样

经过采样以后所得的信号为：

二维Nyquist条件

$$\begin{aligned}f_s(\Delta_x, \Delta_y) &= f(x, y) \cdot s(x, y) \\&= \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} f(i\Delta_x, j\Delta_y) \delta(x - i\Delta_x, y - j\Delta_y)\end{aligned}$$

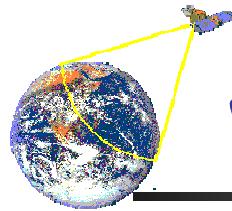
只有在 $i\Delta_x$ 和 $j\Delta_y$ 的采样点上， f_s 才有数值。

为使采样以后的信号 $f_s(\Delta_x, \Delta_y)$ 能完全恢复原来连续信号 $f(x, y)$ ，采样间隔和 Δ_x 和 Δ_y 就必须满足

$$\Delta_x \leq \frac{1}{2f_{xc}} \quad \Delta_y \leq \frac{1}{2f_{yc}}$$

这是一维空间采样的Nyquist条件在二维空间的重现。

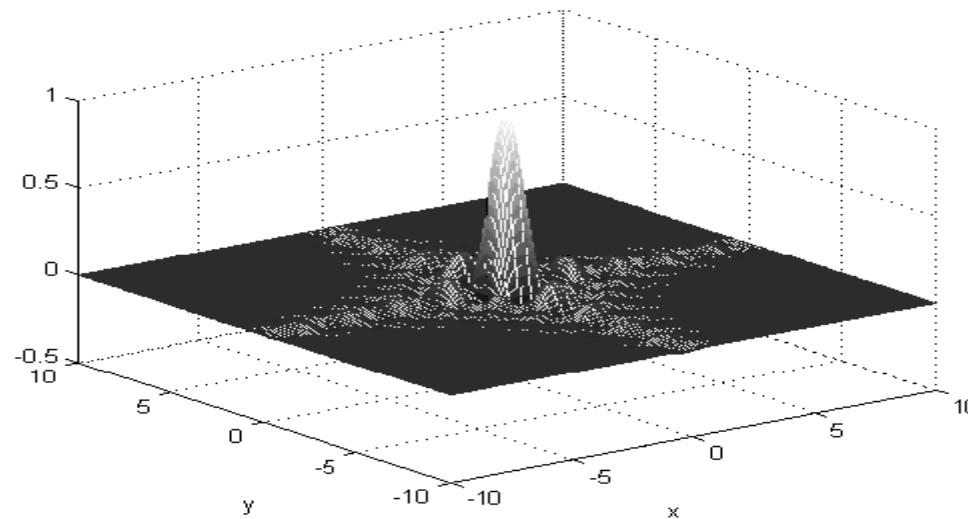
在x和y方向的采样频率必须大于图像在x和y方向最高频率的两倍



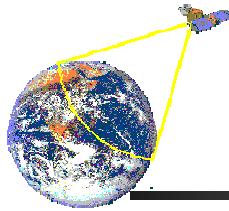
图像数字化—图像的采样

同样把一维重构公式推广到二维情况：**二维信号重建**

$$f(x, y) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} f(n\Delta_x, m\Delta_y) \frac{\sin \frac{\pi}{\Delta_x} (x - n\Delta_x)}{\frac{\pi}{\Delta_x} (x - n\Delta_x)} \cdot \frac{\sin \frac{\pi}{\Delta_y} (y - n\Delta_y)}{\frac{\pi}{\Delta_y} (y - n\Delta_y)}$$



二维sinc函数的图形表示



图像数字化—图像的亚采样

- 图像的**亚采样**—采样频率低于Nyquist采样频率
 - 除了降低采样频率，也可以将按采样定理获得的图像再抽样，即每隔K个像素，保留1个像素，其余的丢掉，重构时用内插法恢复丢失的数据。

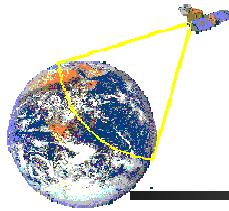


原图

每隔2个像素保
留1个像素采样
后恢复图像

每隔4个像素保
留1个像素采样
后恢复图像

每隔16个像素
保留1个像素采
样后恢复图像



图像数字化—图像的亚采样

- 图像的亚采样—恢复图像信号中的失真

- 莫尔条纹

- 混淆效应

- ✓ 在取样图像中增加一个附加频率分量—混淆频率

- 混淆效应消除

- ✓ 尽可能高的采样频率

- 高分辨率

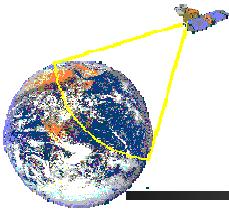
- 大图像

- ✓ 反混淆滤波—滤除混淆频率

- 损失图像细节

实际的图像一般带宽较大，但高频分量一般较小，滤去部分高频分量，再按奈氏准则采样

信号频率过高，采样一定会出现混叠，滤去混叠频率再采样，会损失图像细节



图像数字化—图像的采样

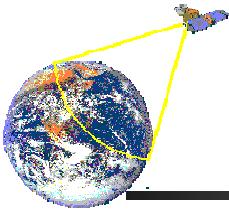
■ 与采样相关的分辨率概念

空间分辨率：是指映射到图像平面上的单个像素的景物元素的尺寸。

单位：像素/英寸，像素/厘米

或者是指要精确测量和再现一定尺寸的图像所必需的像素个数。

单位：像素 × 像素

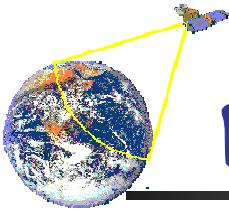


图像数字化—图像的量化

■ 图像的量化

- 将各个像素所含的明暗信息离散化后，用数字来表示称为图像的量化—灰度分辨率
- 量化可分为均匀量化和非均匀量化。均匀量化是简单地在灰度范围内等间隔量化。非均匀量化是对像素出现频度少的部分量化间隔取大，而对频度大的量化间隔取小。
- 一般的量化值用整数来表示。充分考虑到人眼的识别能力之后，目前非特殊用途的图像均为8bits量化，即用 0~255 描述“黑~白”。
- 在3bit以下的量化，会出现伪轮廓现象。

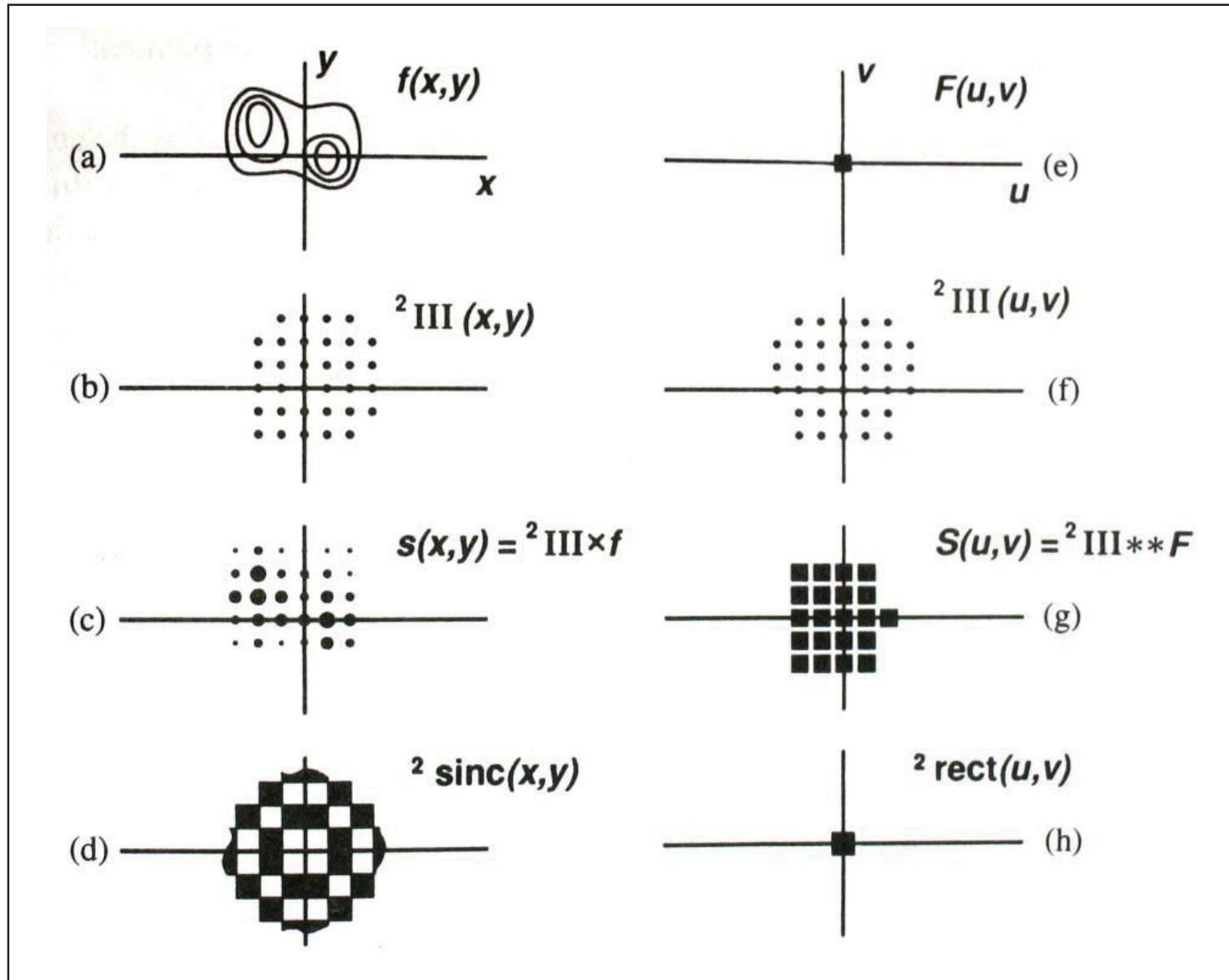
指本来一个区域的目标—》多个



图像数字化—图像的采样与量化

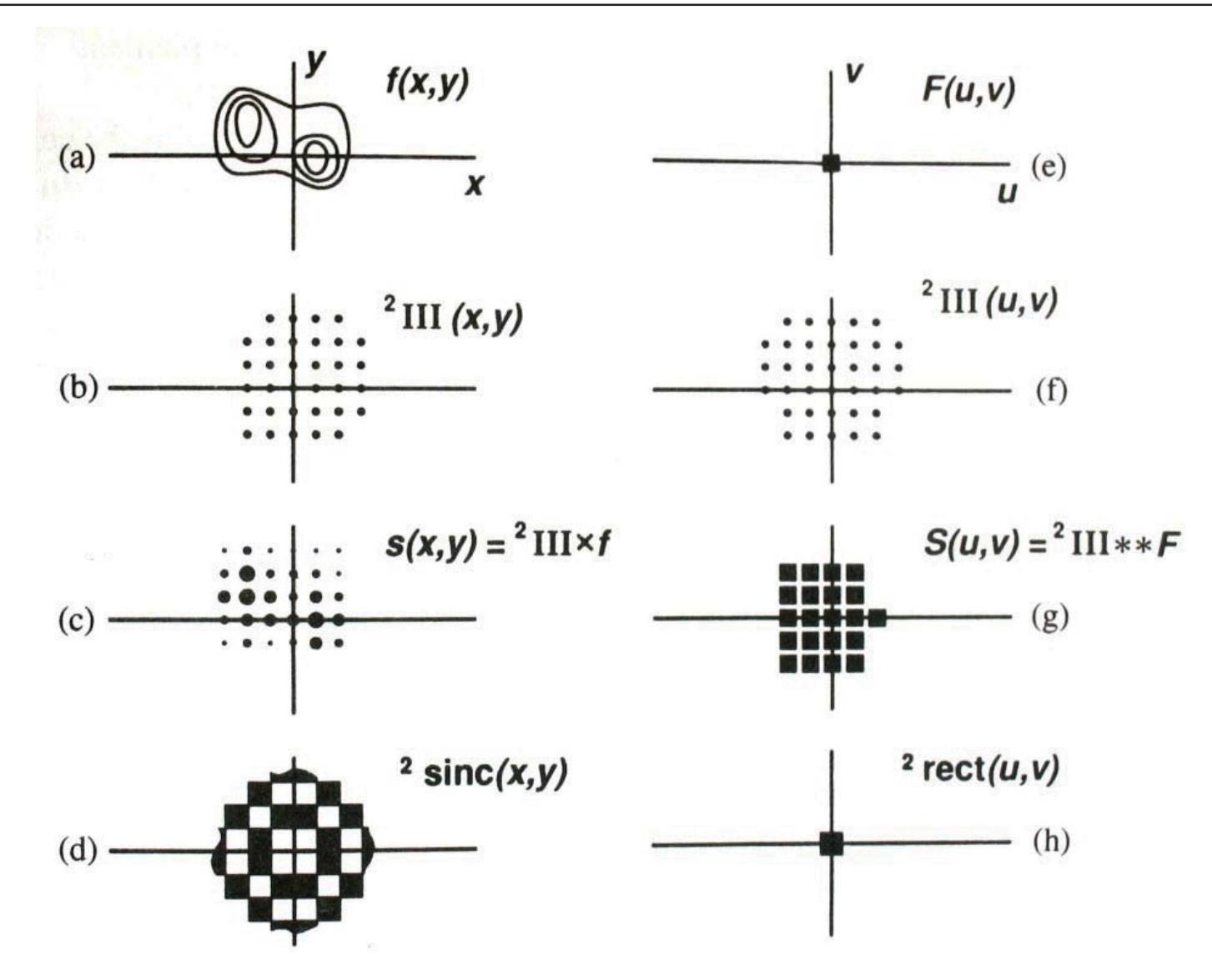
- 空间分辨率与灰度分辨率
 - 空间分辨率—在图像空间可分辨的最小细节
 - 灰度分辨率—在象素灰度上可分辨的最小变化
- 空间与灰度分辨率对图像质量的影响
 - 空间分辨率越高， 图像质量越好
 - 灰度分辨率越高， 图像质量越好
- 空间与灰度分辨率的视觉相应关系
 - 图像的空间细节与灰度分辨能力
 - 等偏爱曲线

Sampling theorem

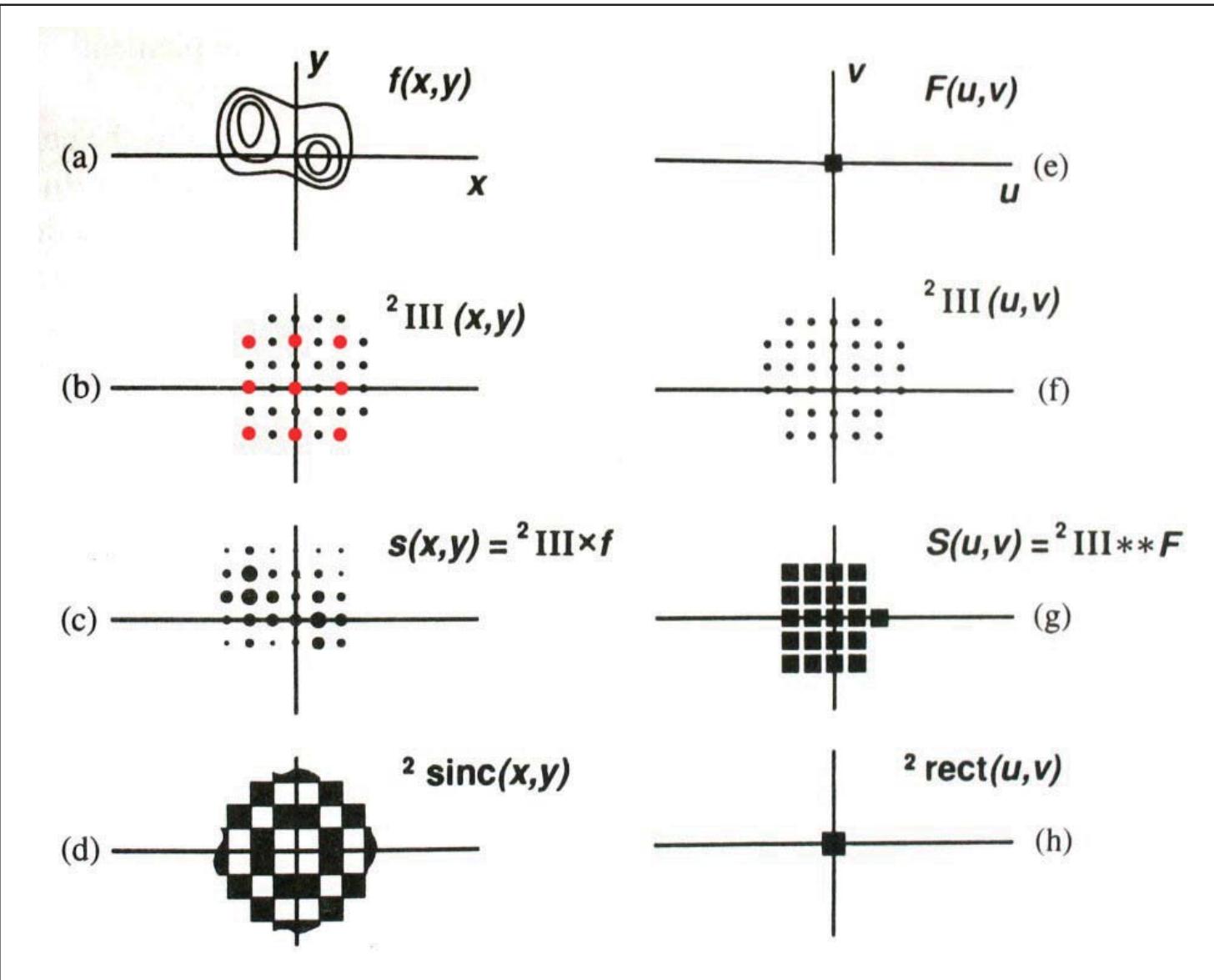


3

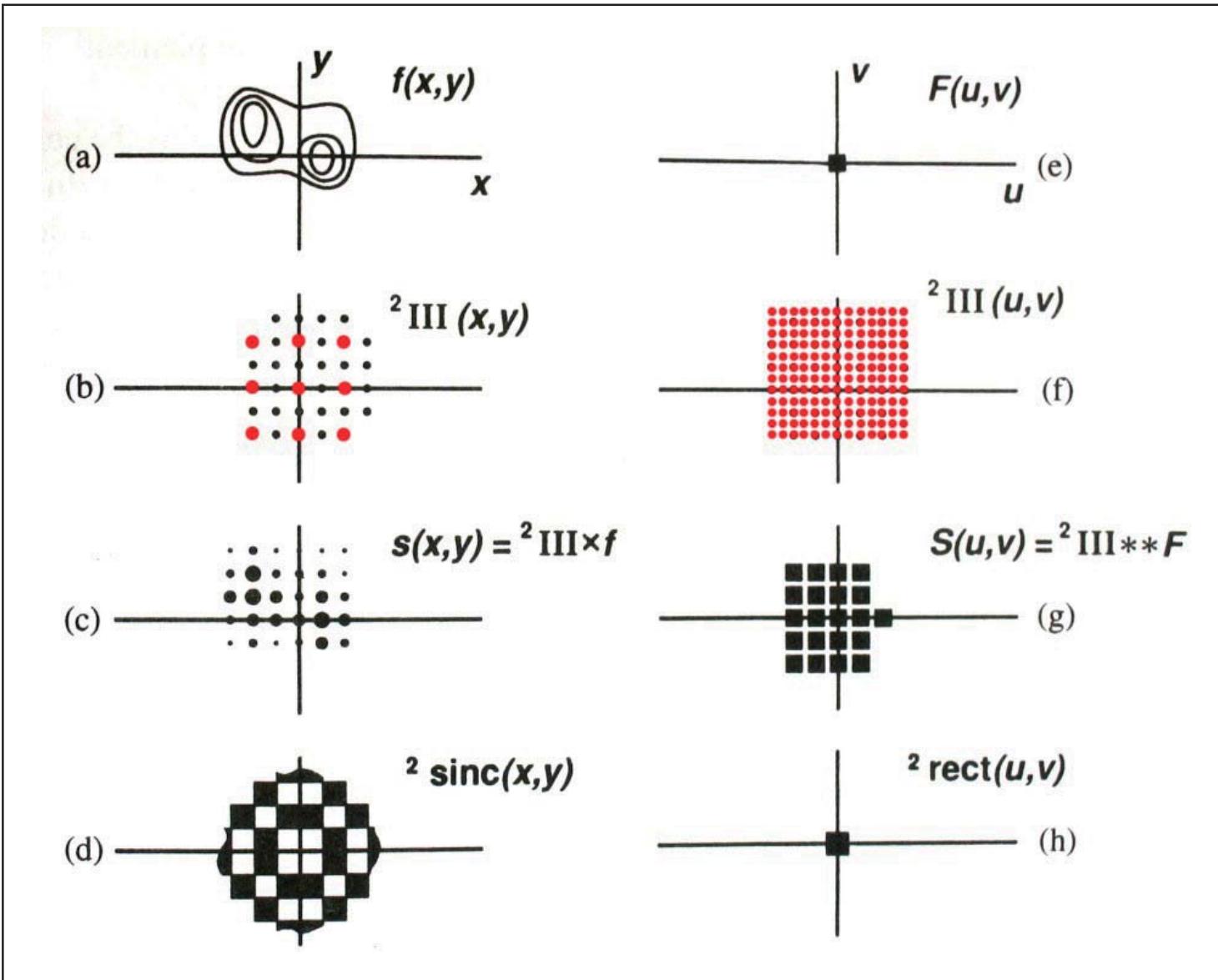
Sampling theorem—Aliasing



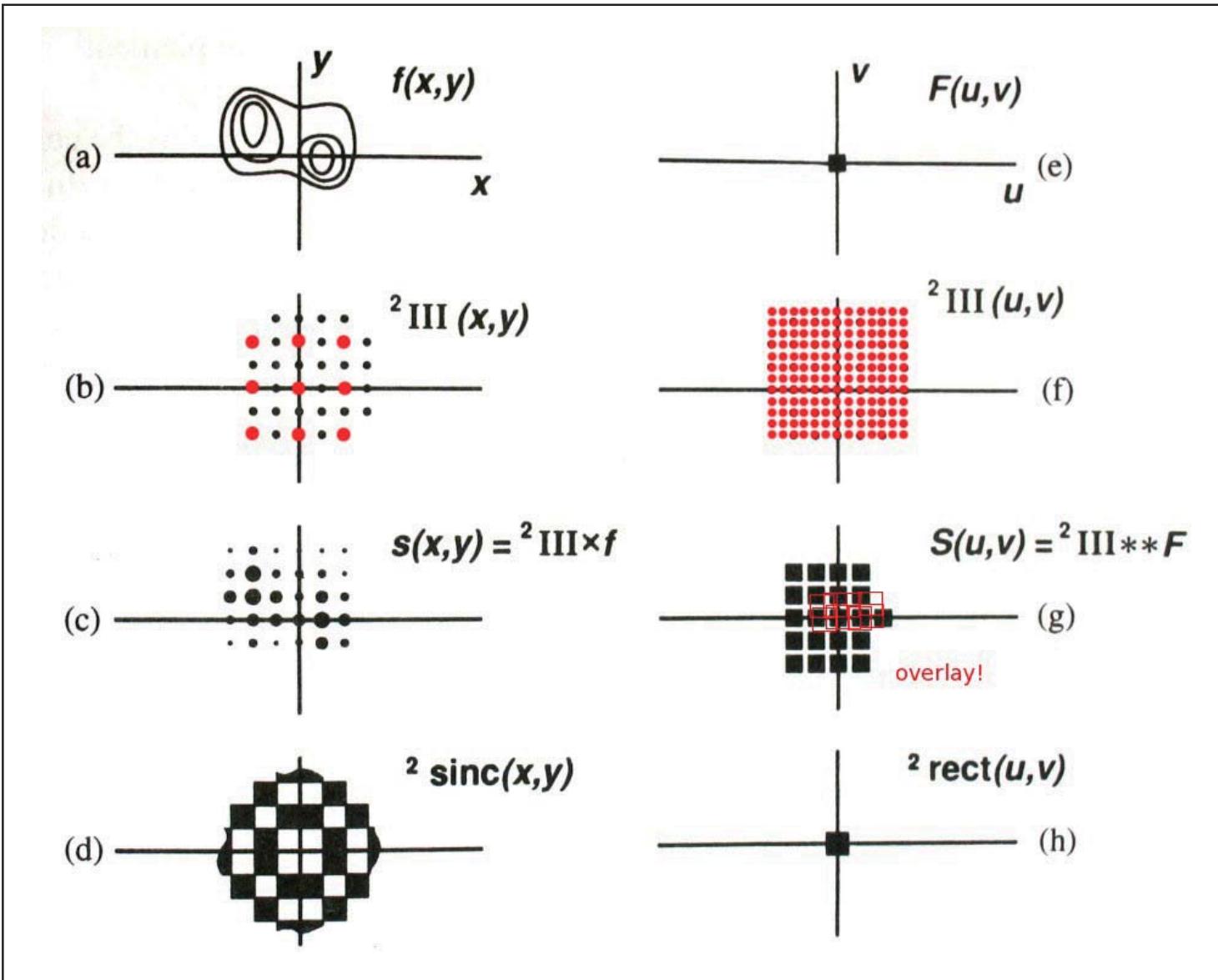
Sampling theorem—Aliasing



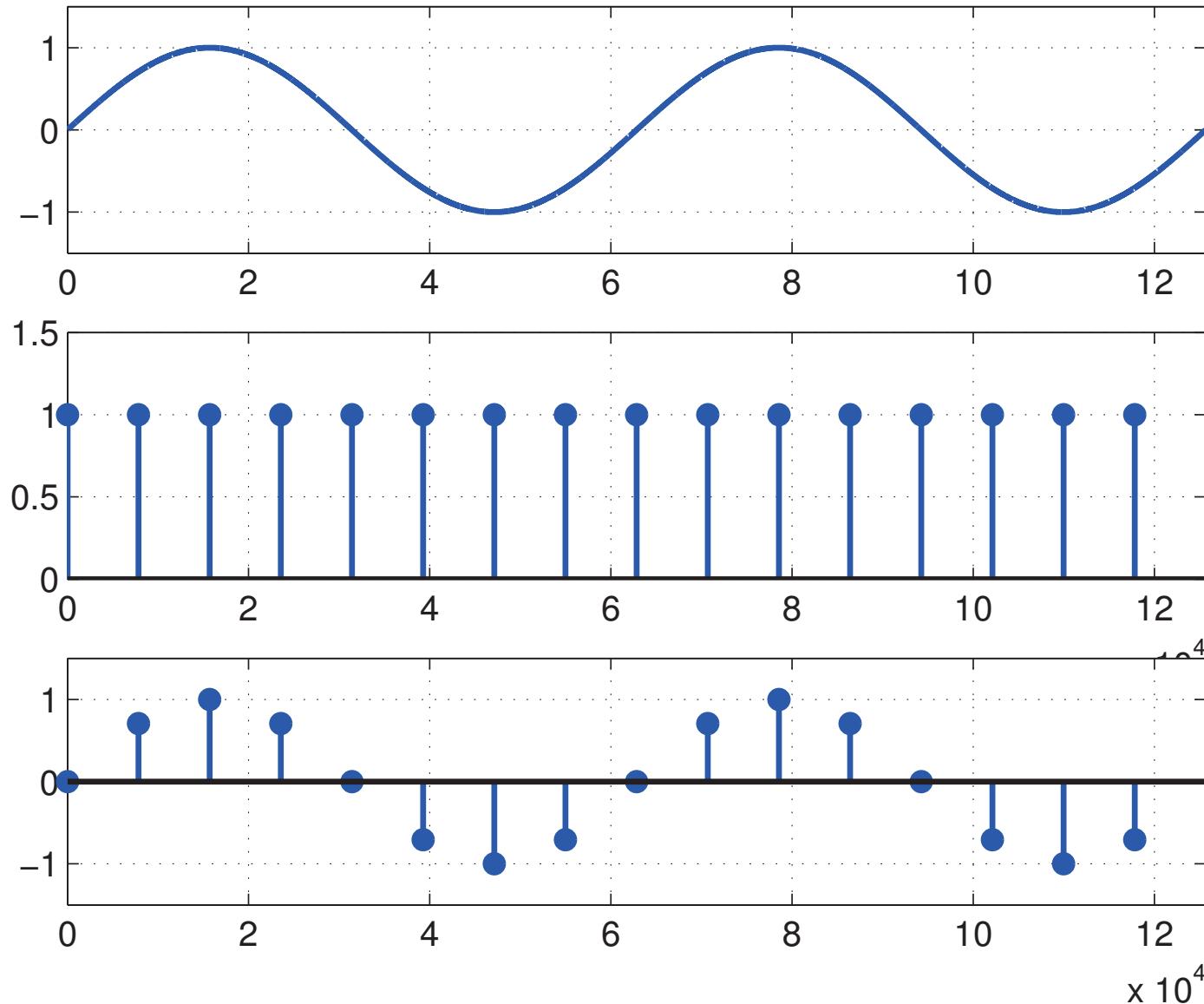
Sampling theorem—Aliasing



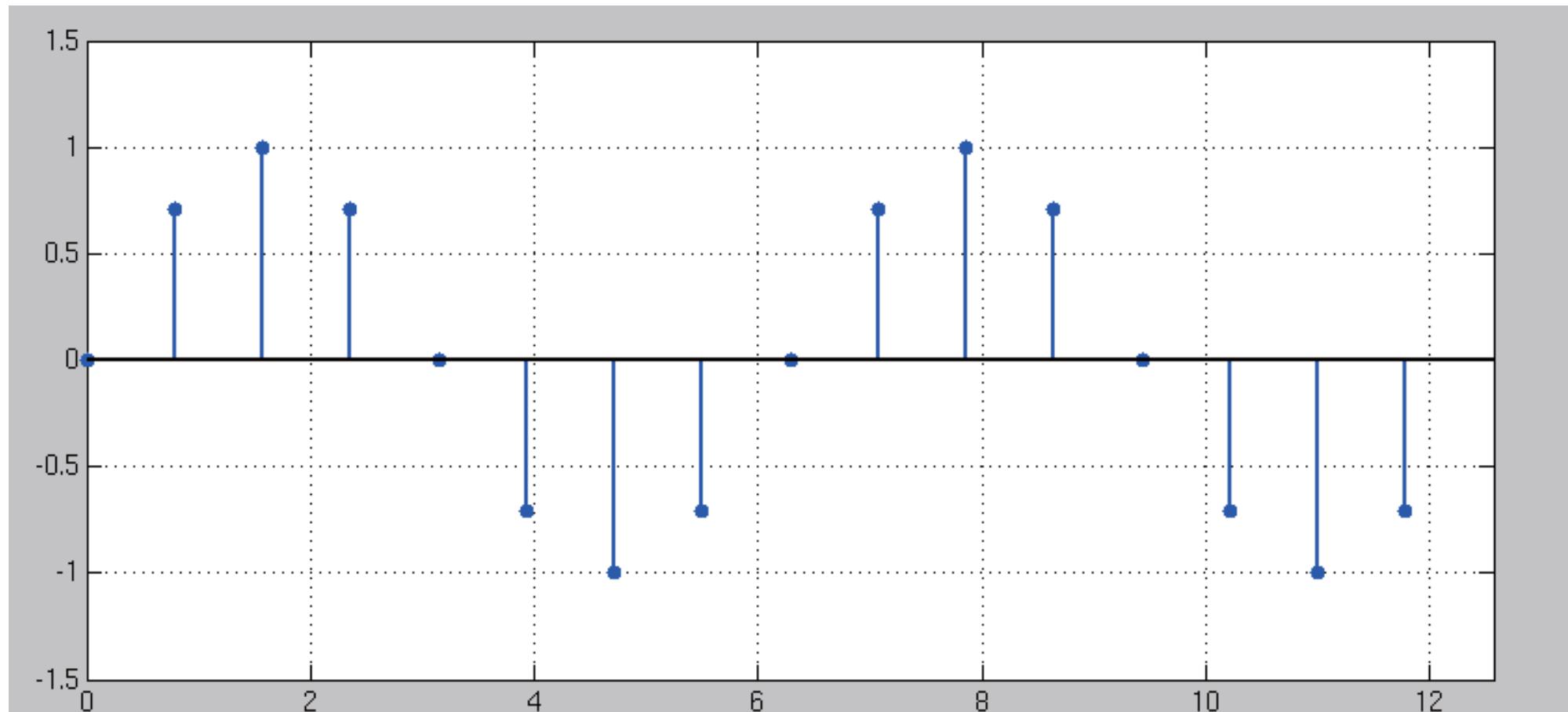
Sampling theorem—Aliasing



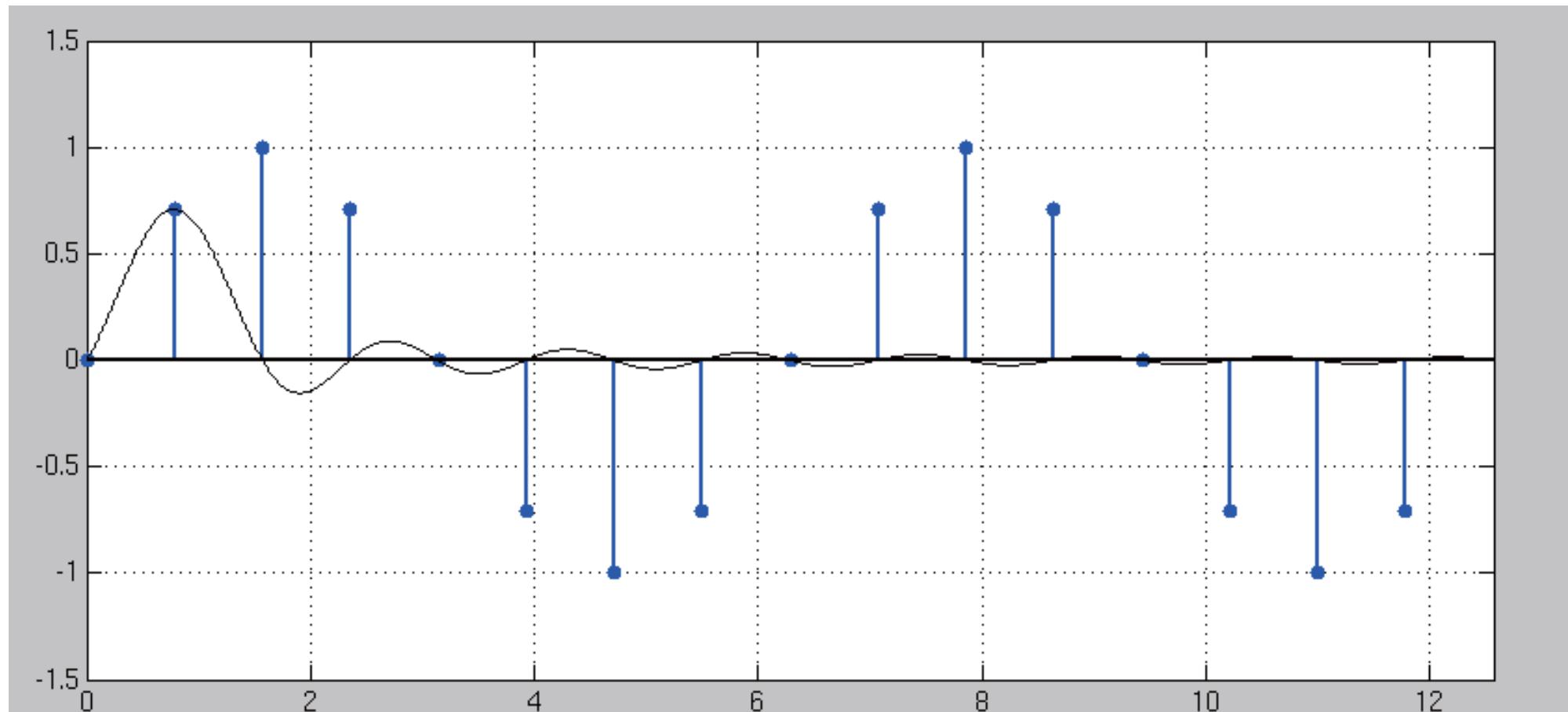
From continuous to discrete and back again



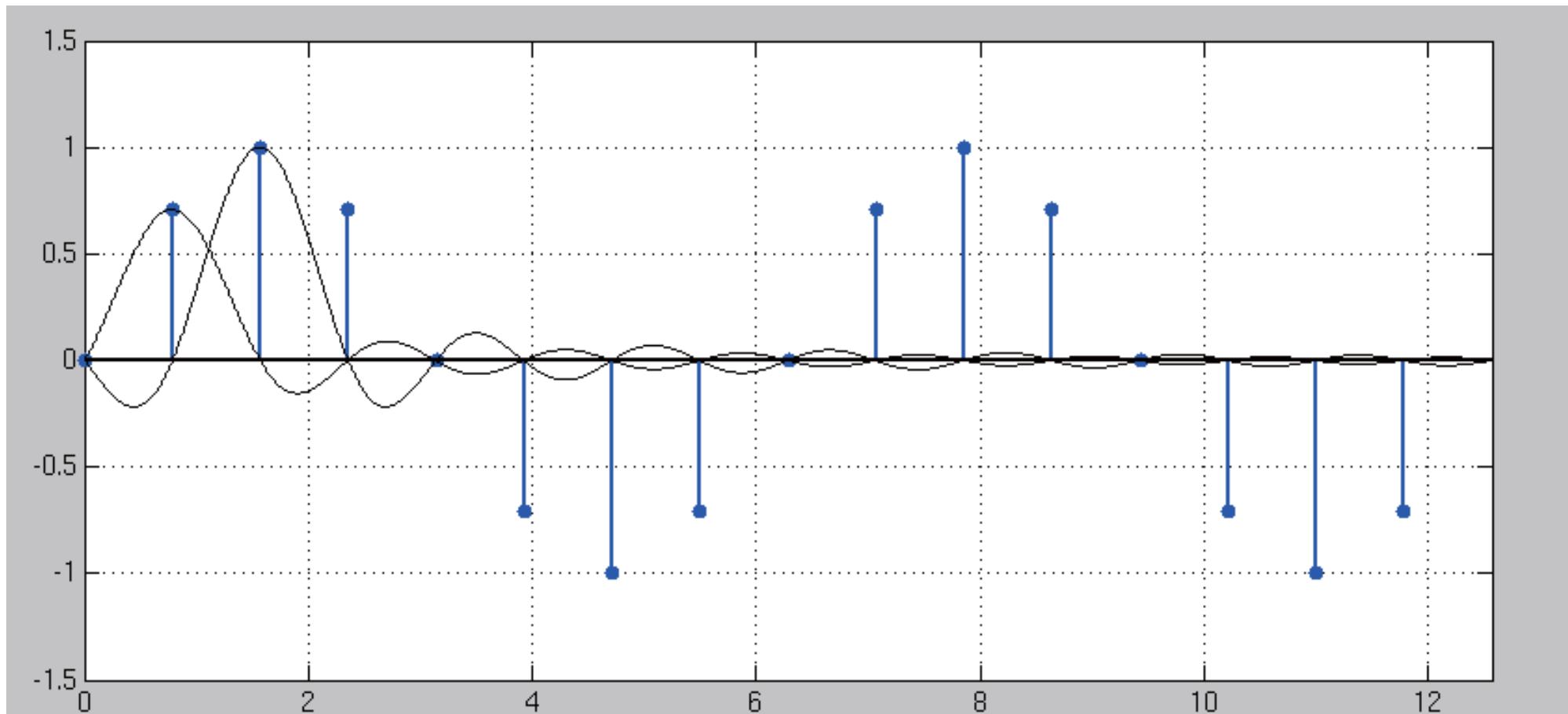
From continuous to discrete and back again



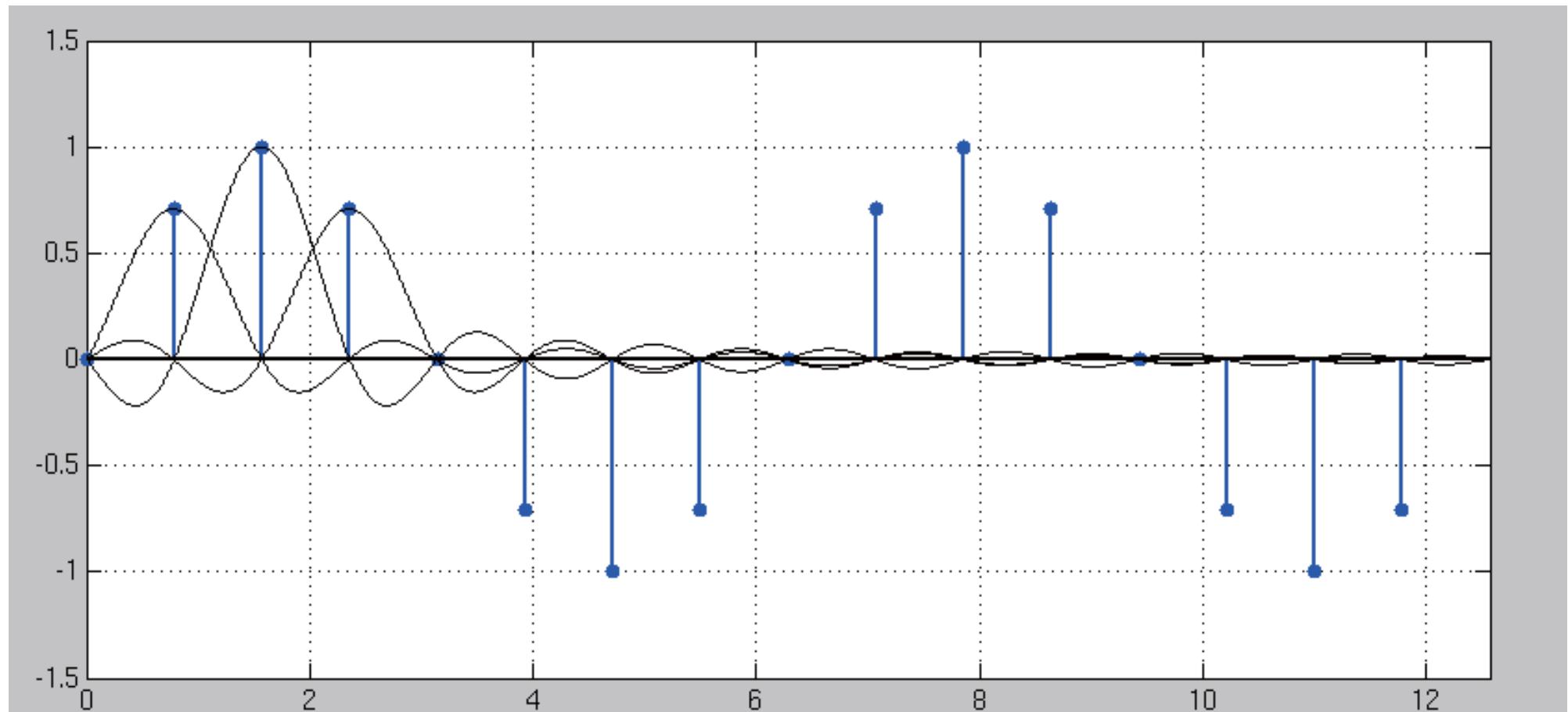
From continuous to discrete and back again



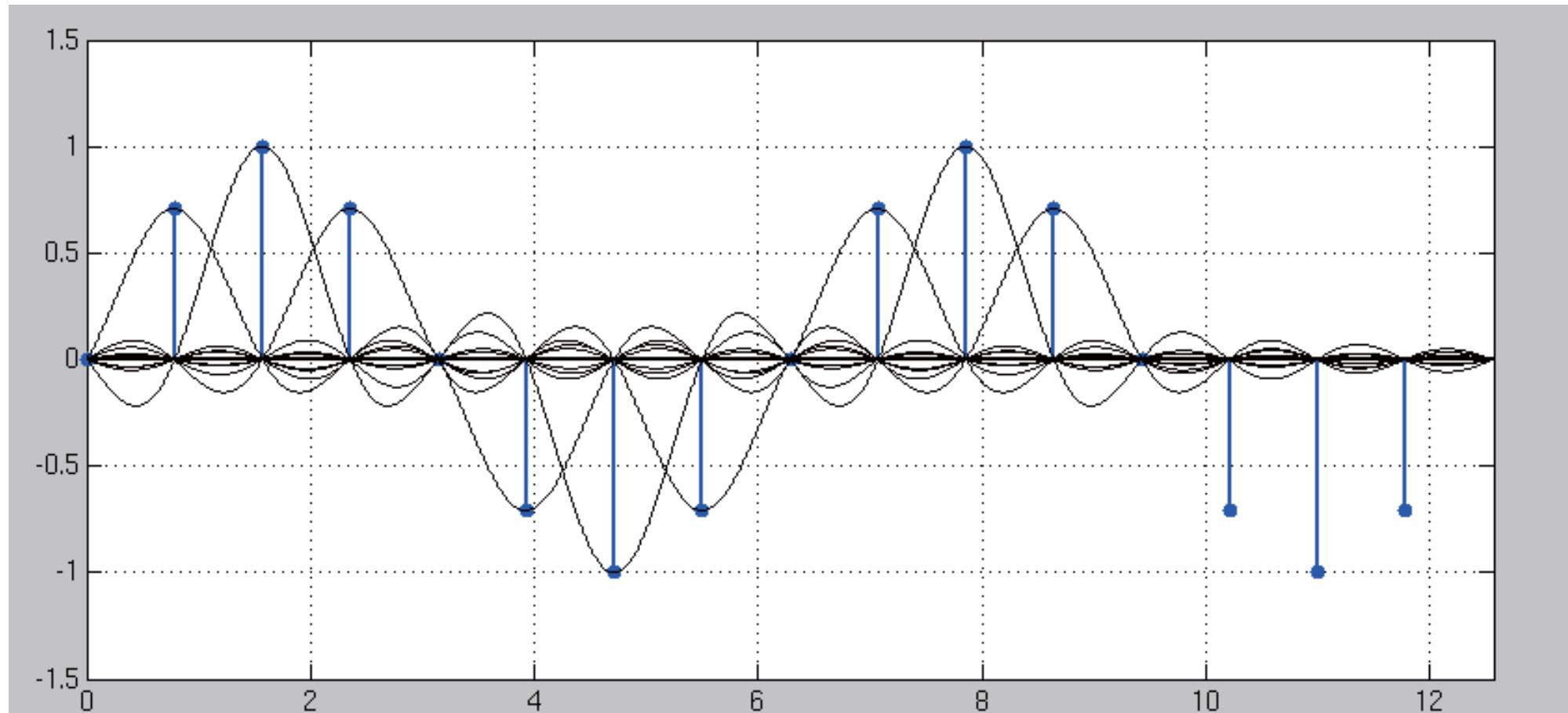
From continuous to discrete and back again



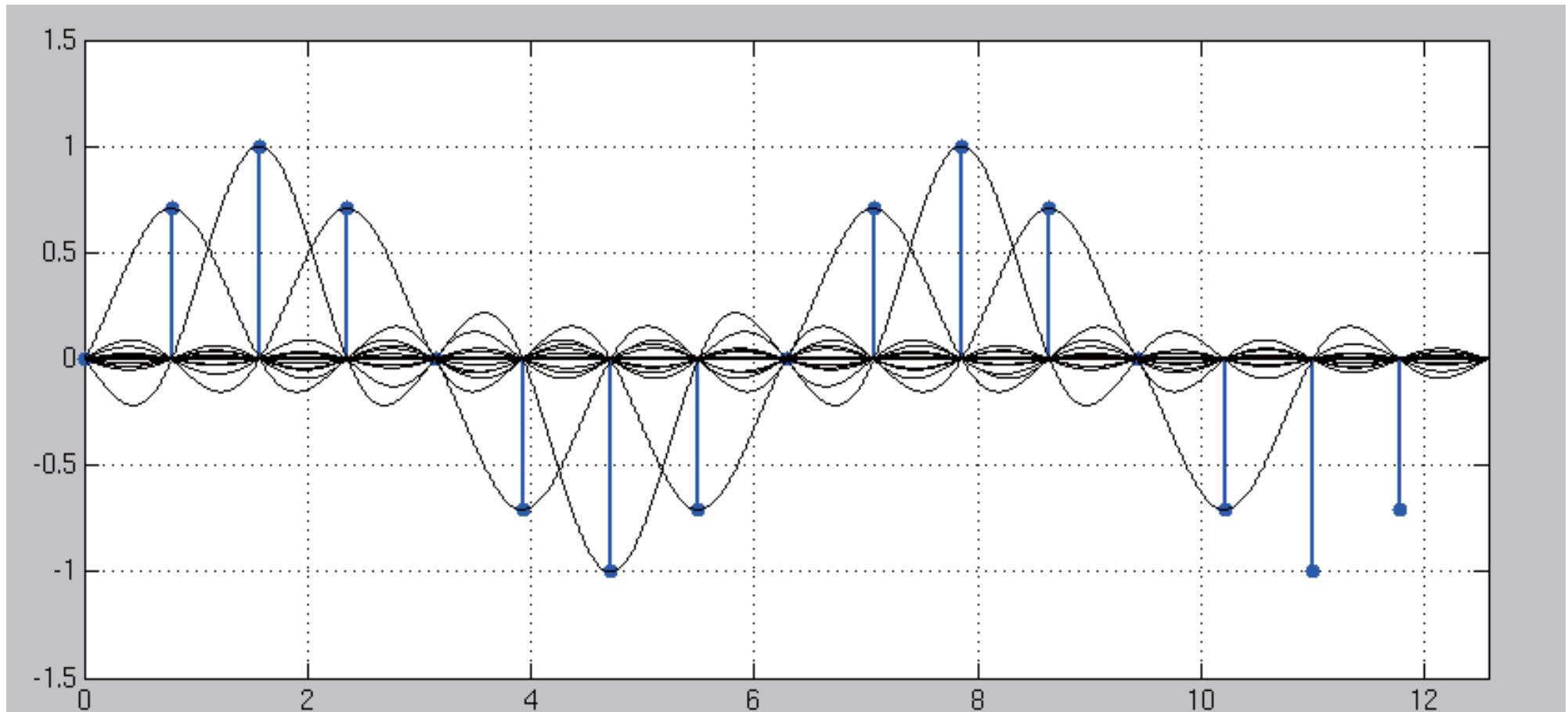
From continuous to discrete and back again



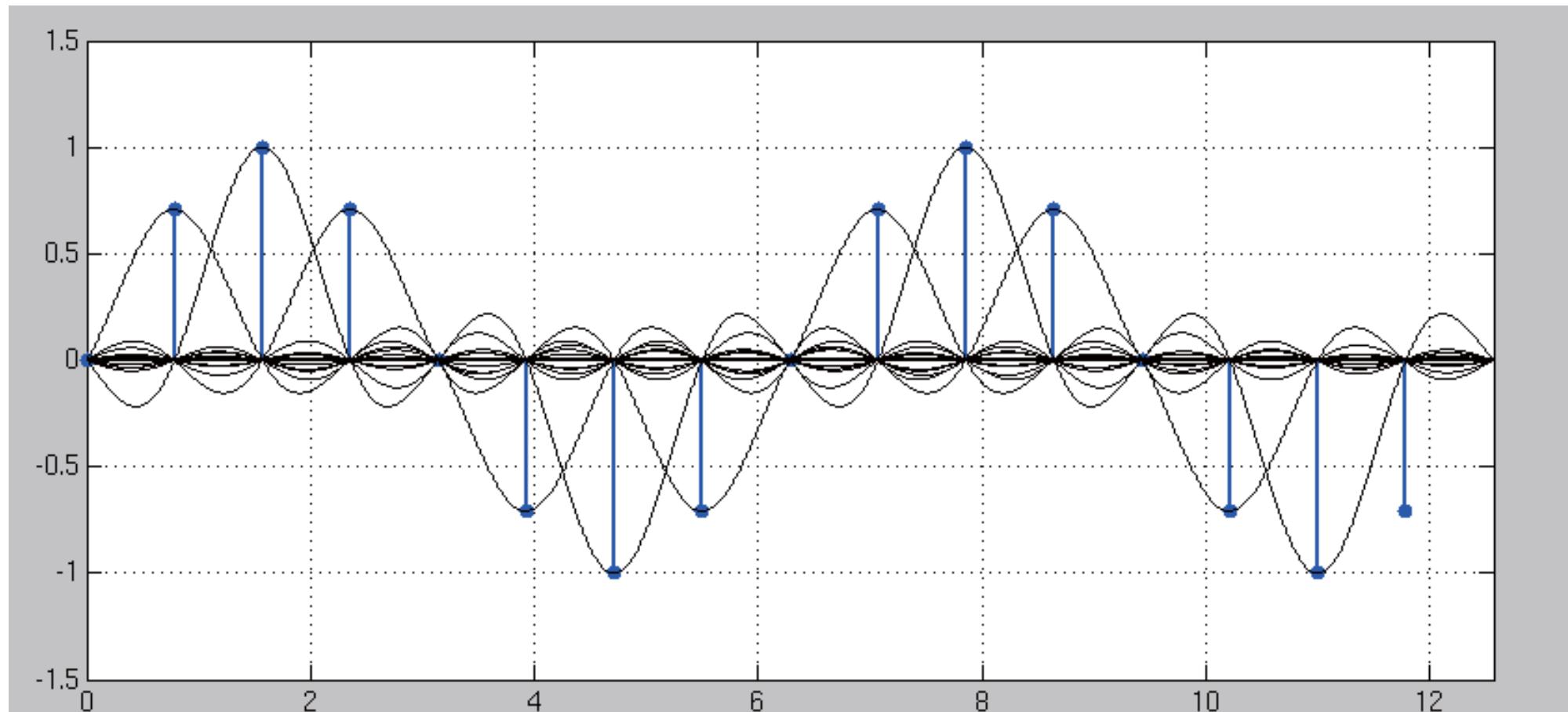
From continuous to discrete and back again



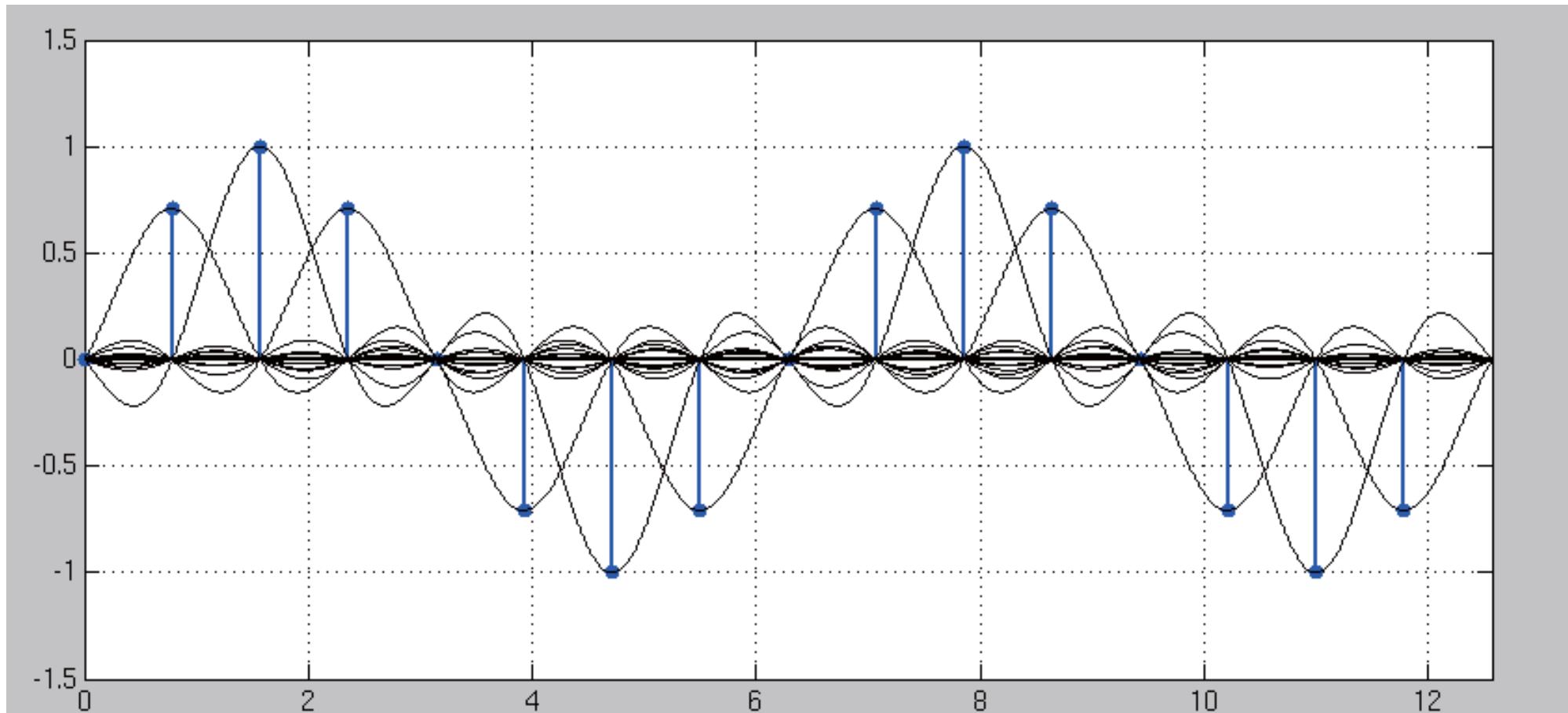
From continuous to discrete and back again



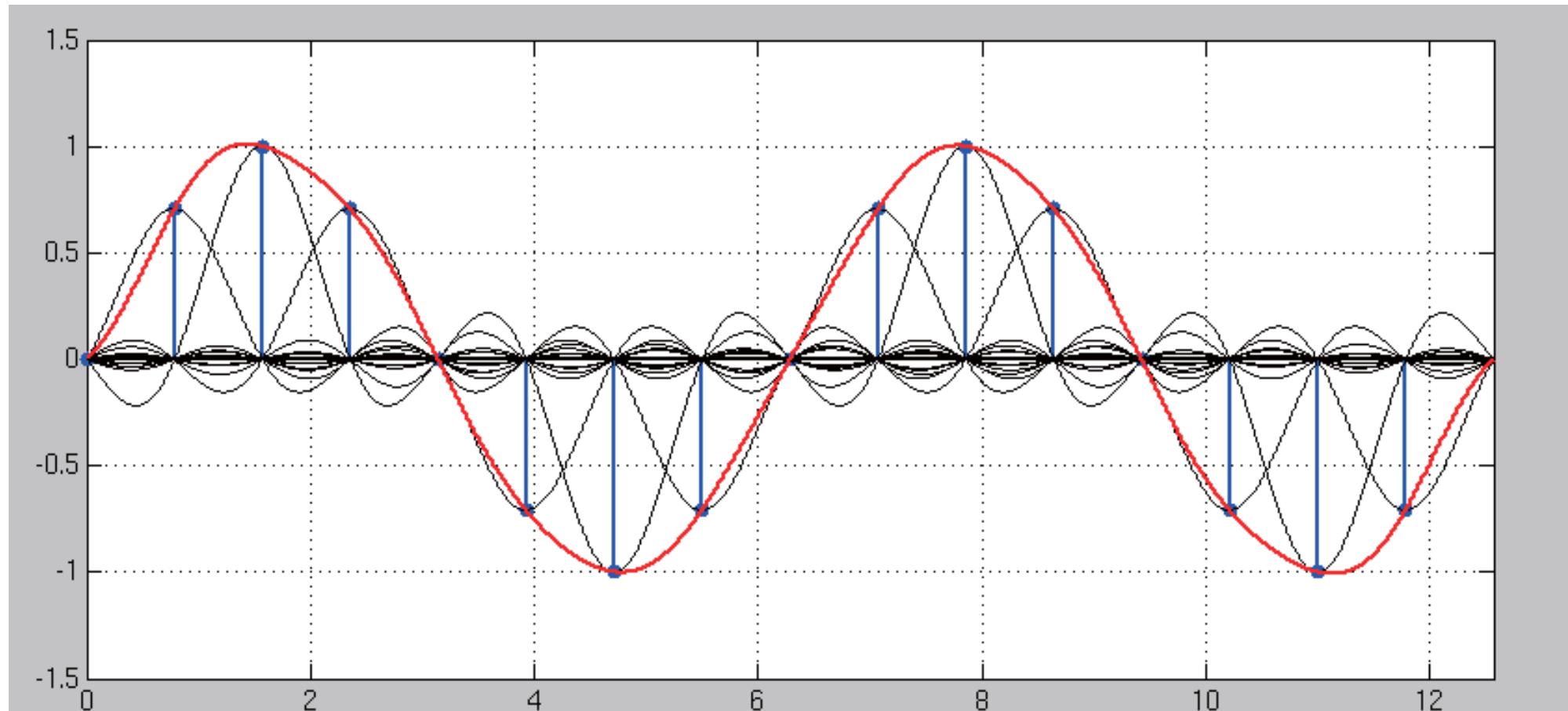
From continuous to discrete and back again



From continuous to discrete and back again

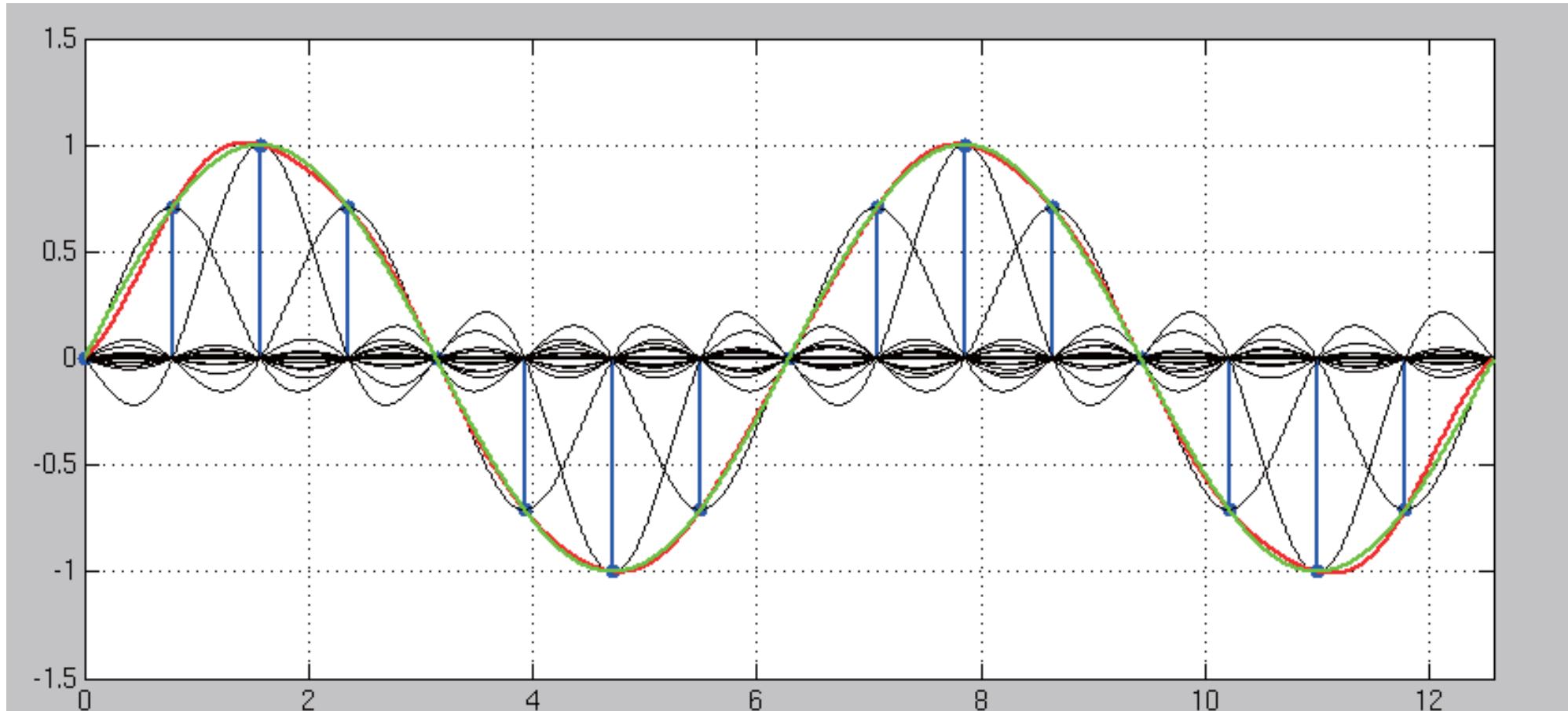


From continuous to discrete and back again



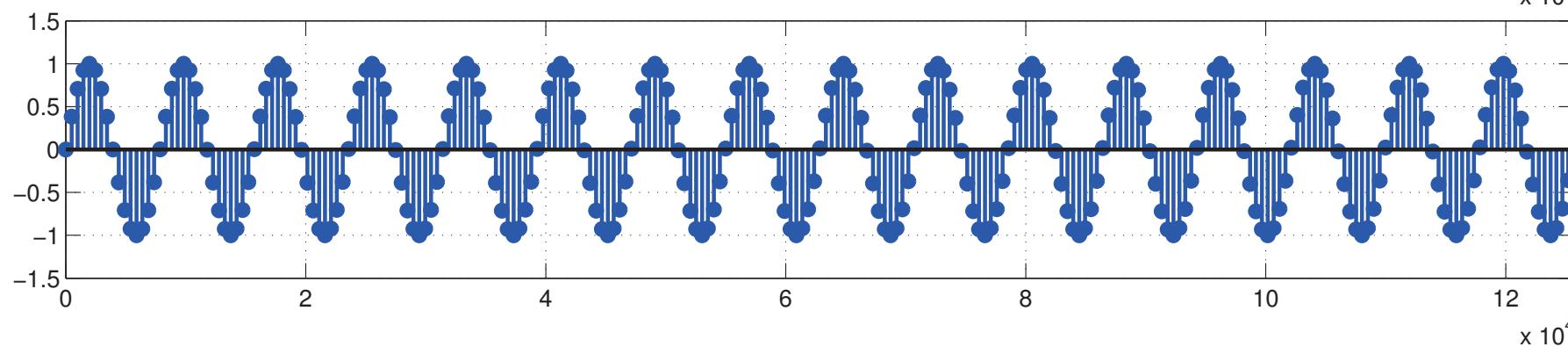
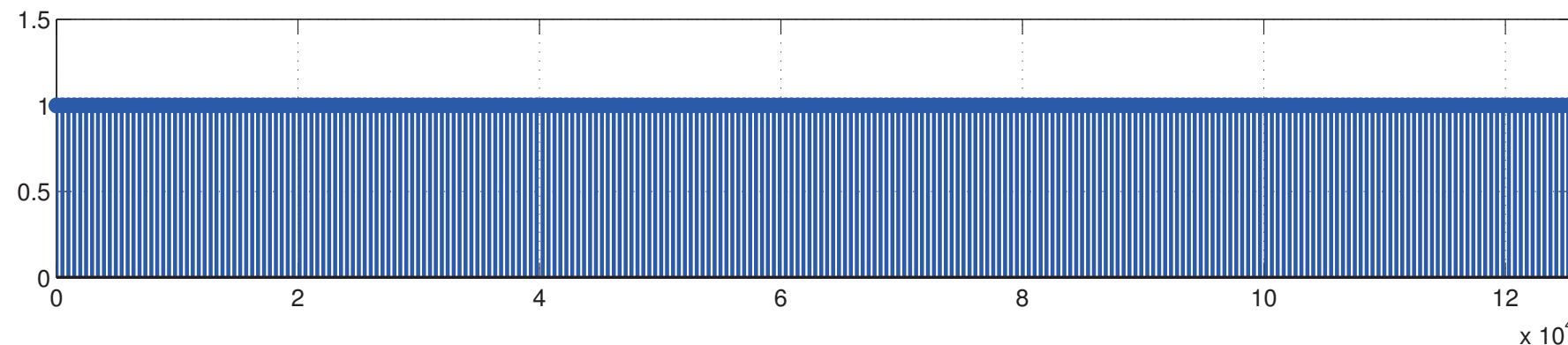
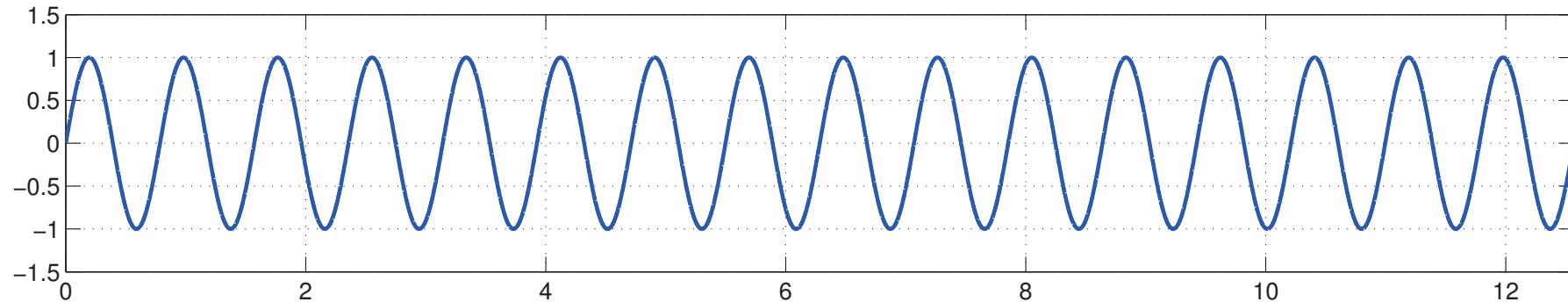
Sum the sinc functions up.

From continuous to discrete and back again

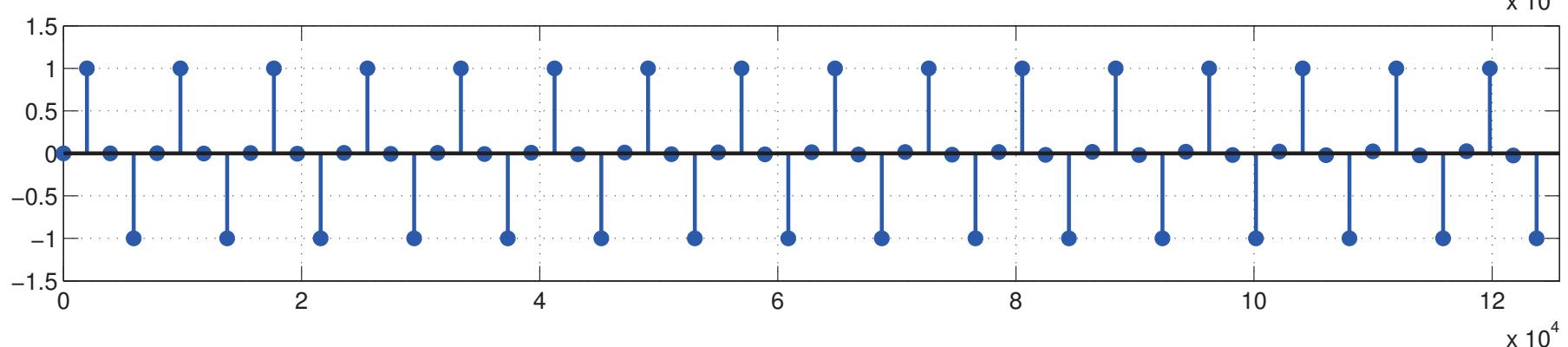
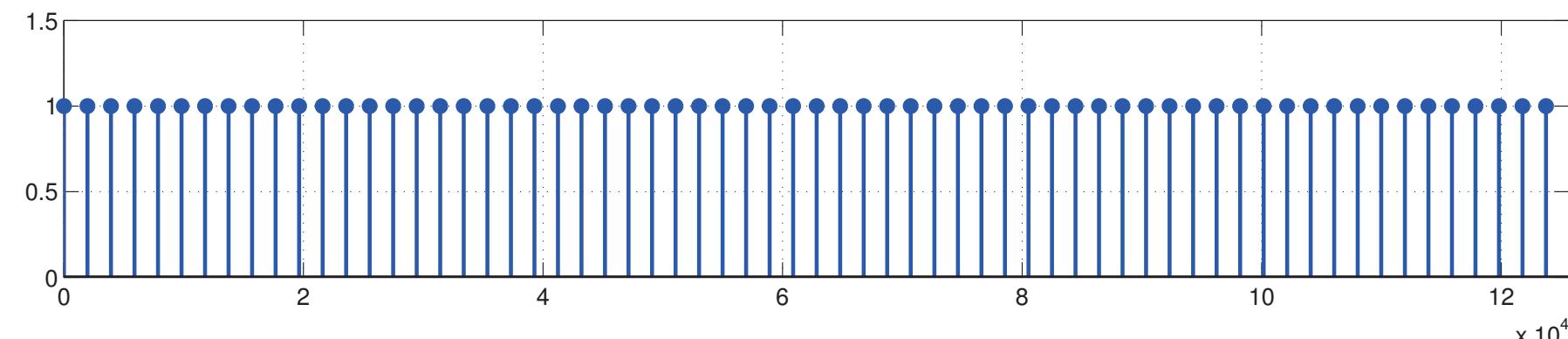
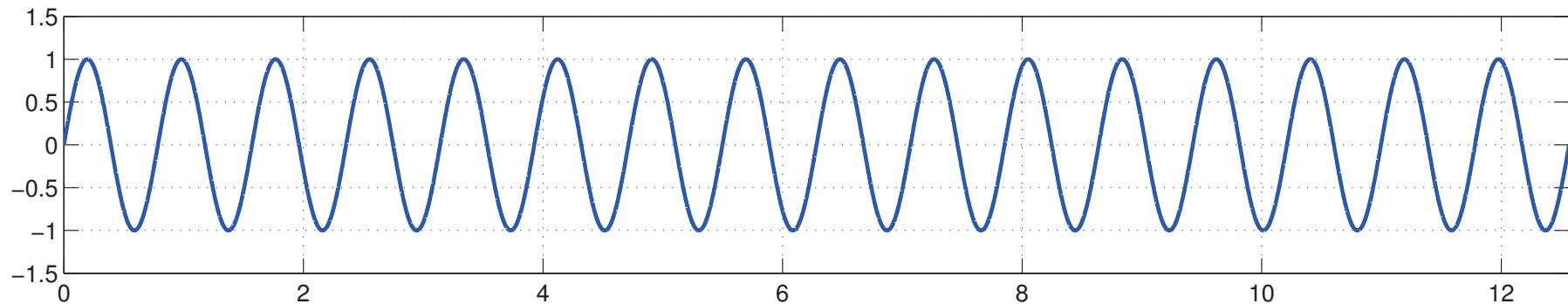


Compare the reconstructed result with the original function.

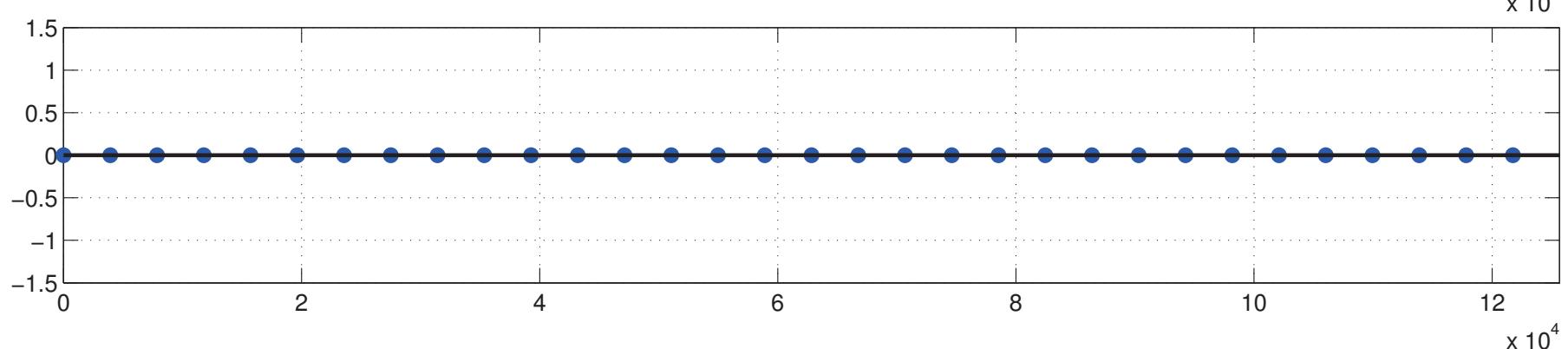
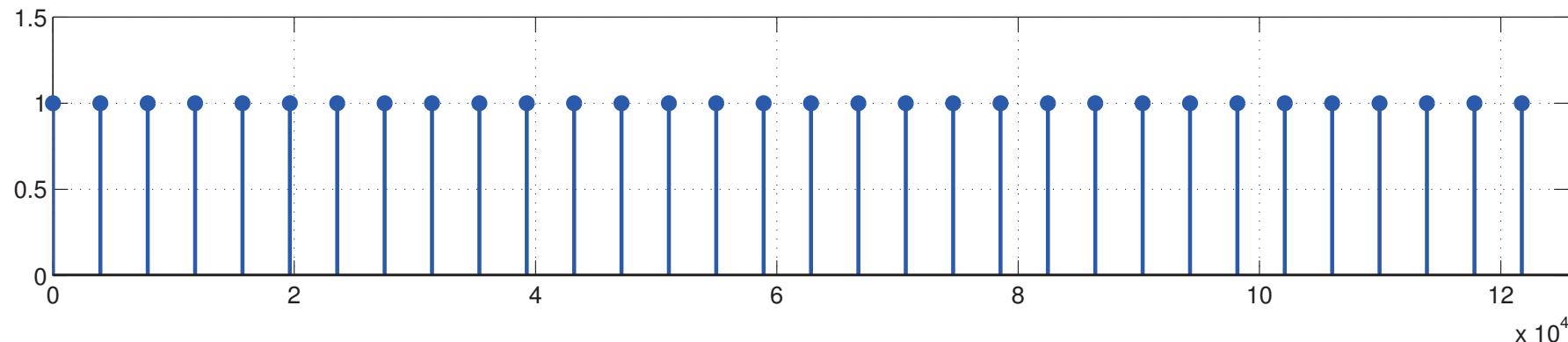
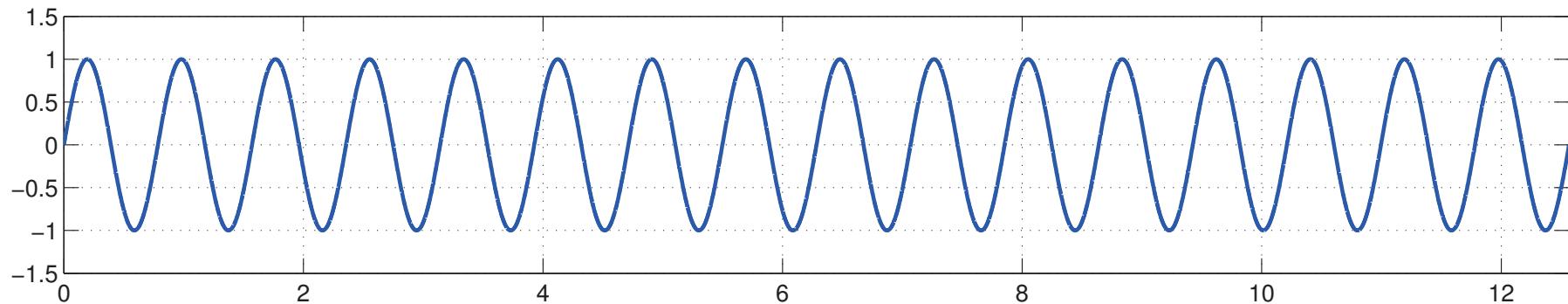
1D sampling $T_{vz} = \frac{T_{max}}{8}$ Tmax : 按奈氏准则
计算的最大采样间隔



1D sampling $T_{vz} = \frac{T_{max}}{2}$



1D sampling $T_{vz} = T_{max}$



1D sampling $T_{vz} = 2.1 T_{max}$

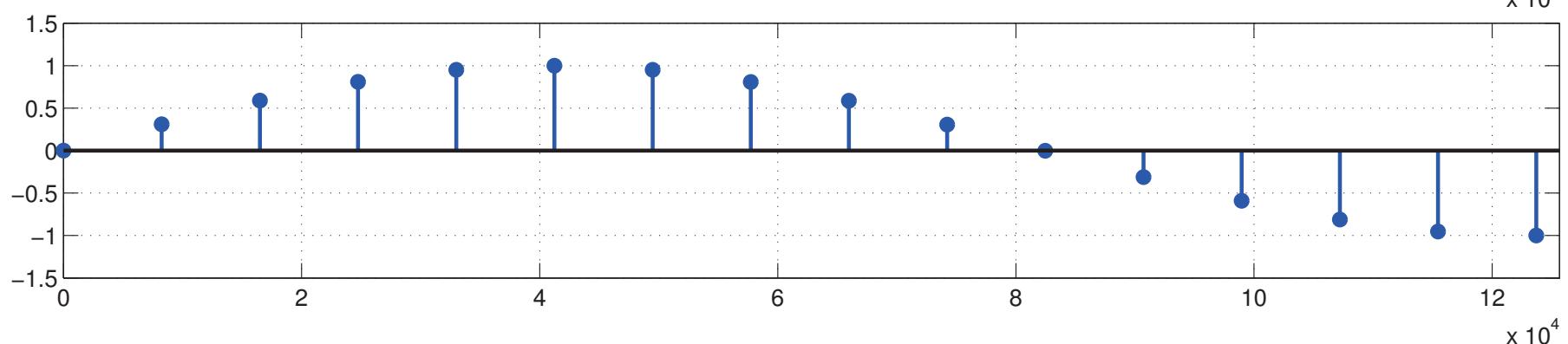
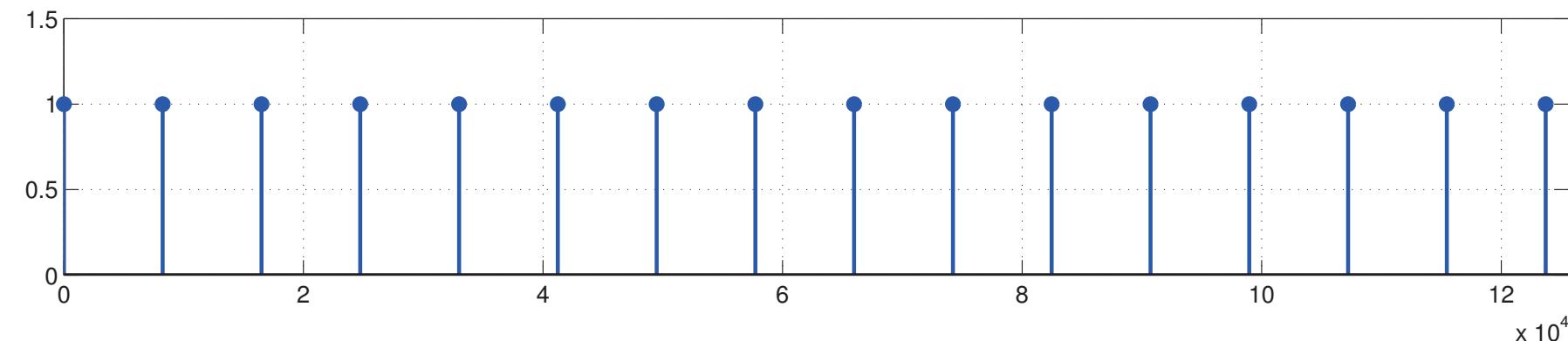
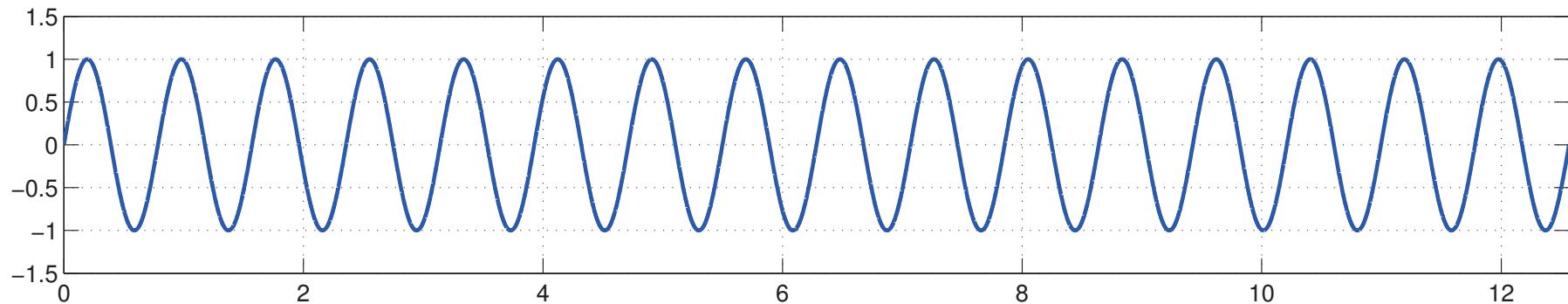
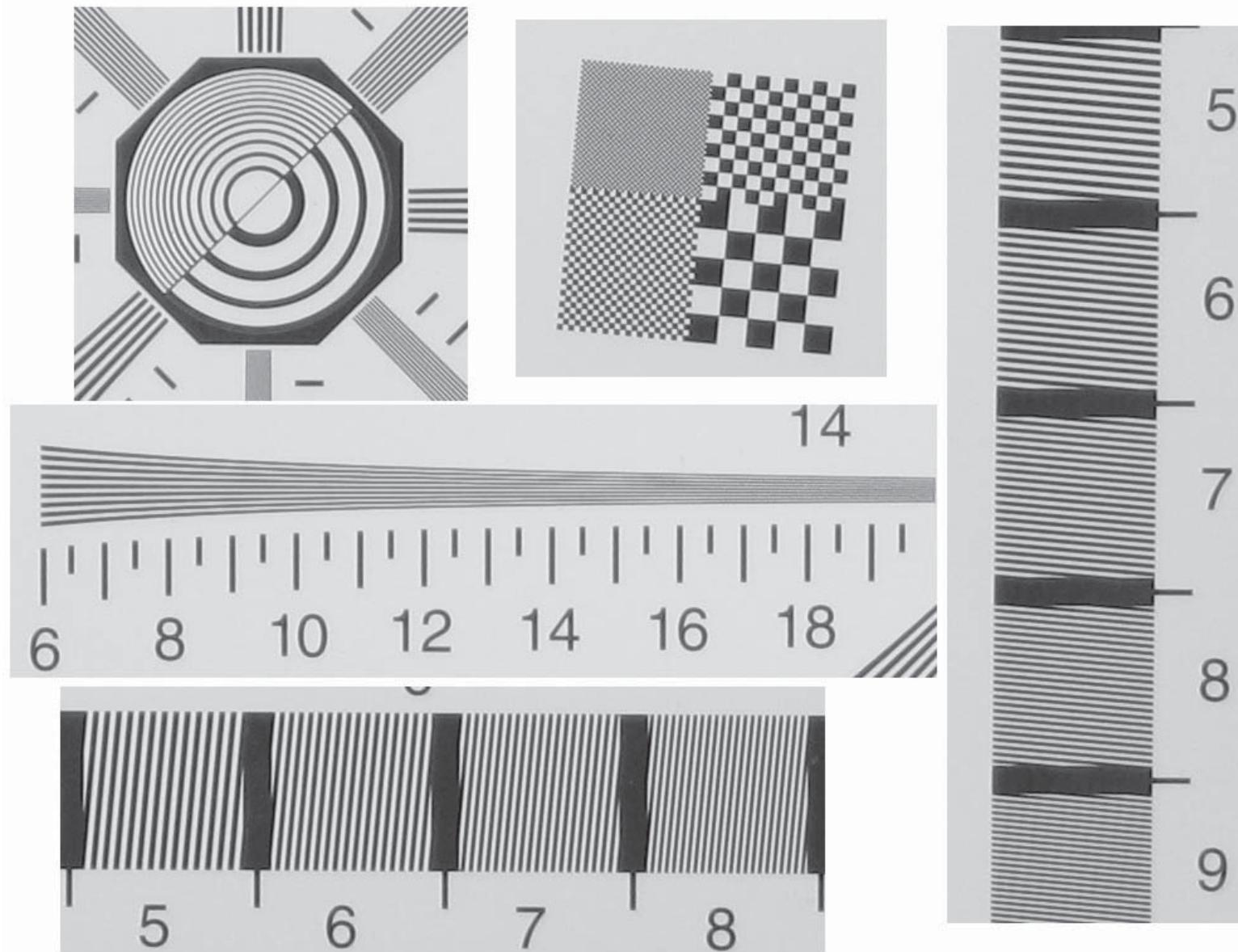
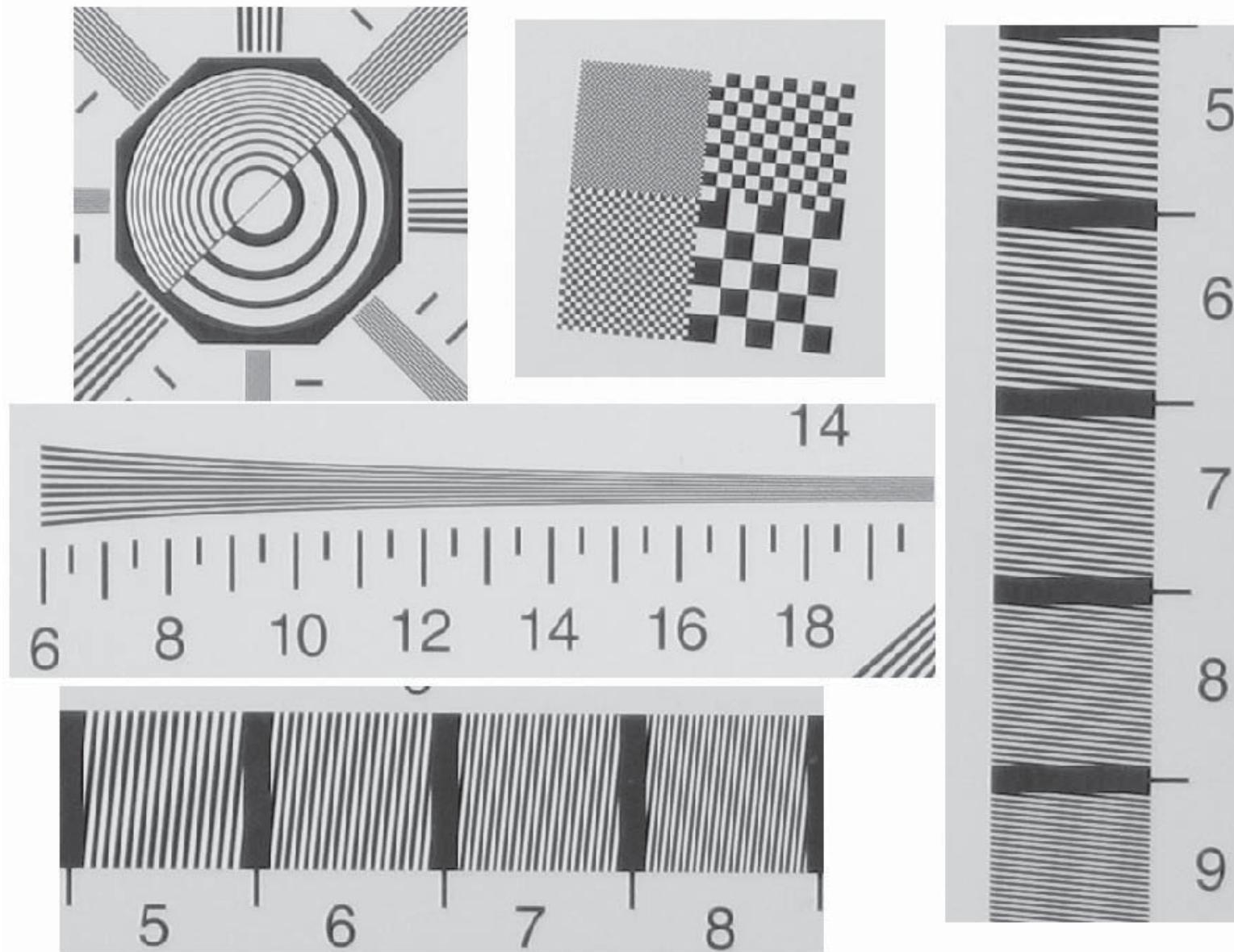


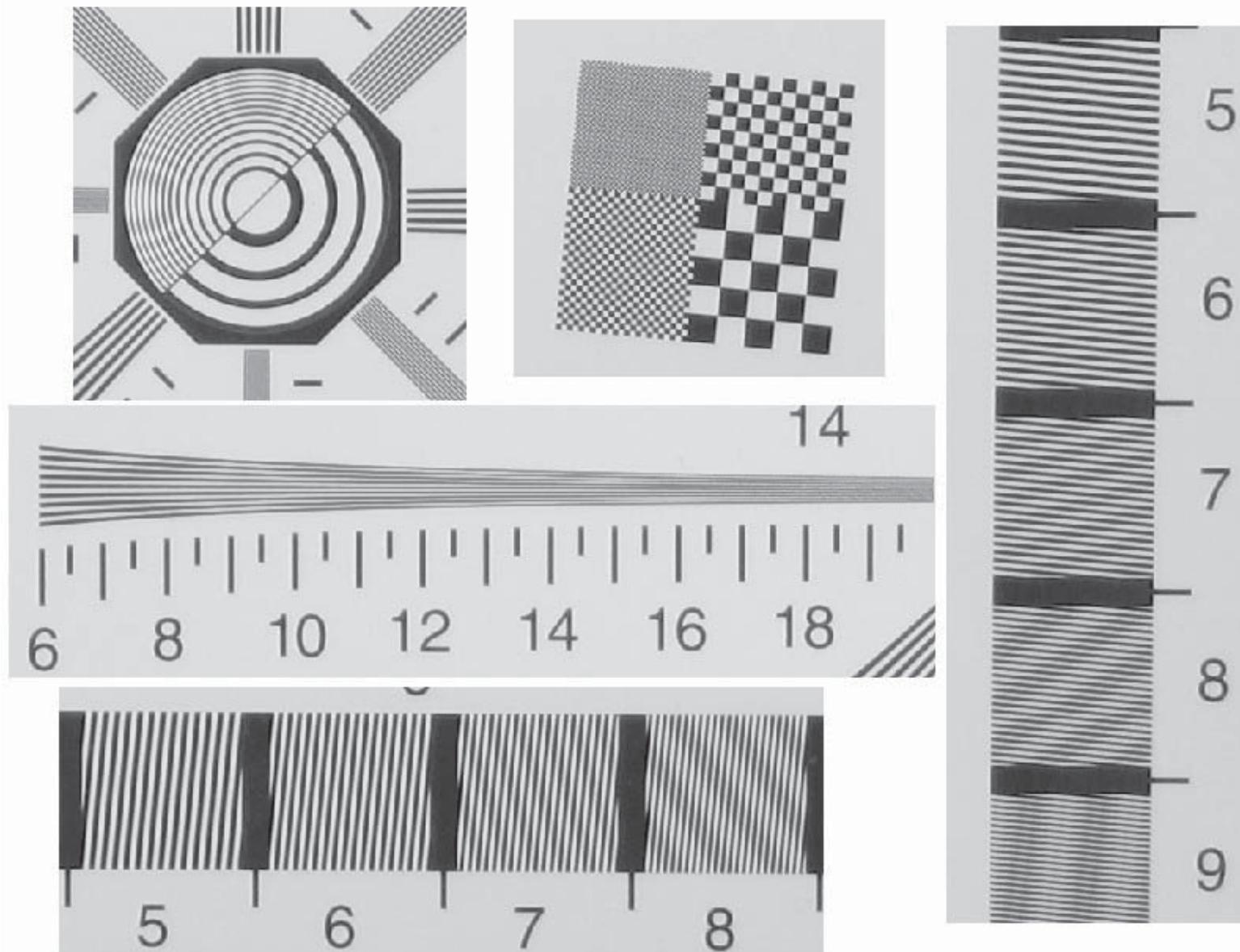
Image aliasing example 100% (无混叠)



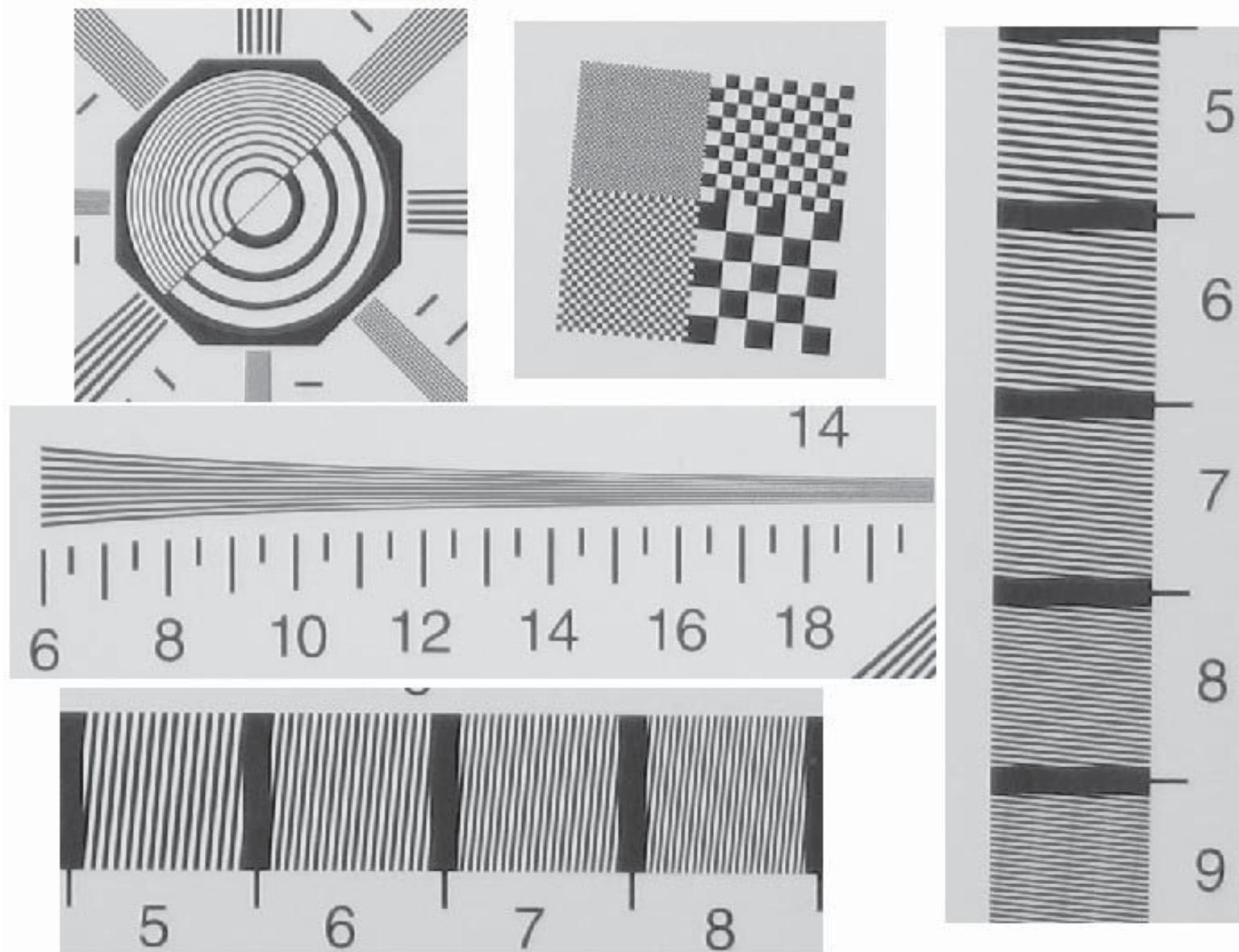
Aliasing example 90% (10%混疊)



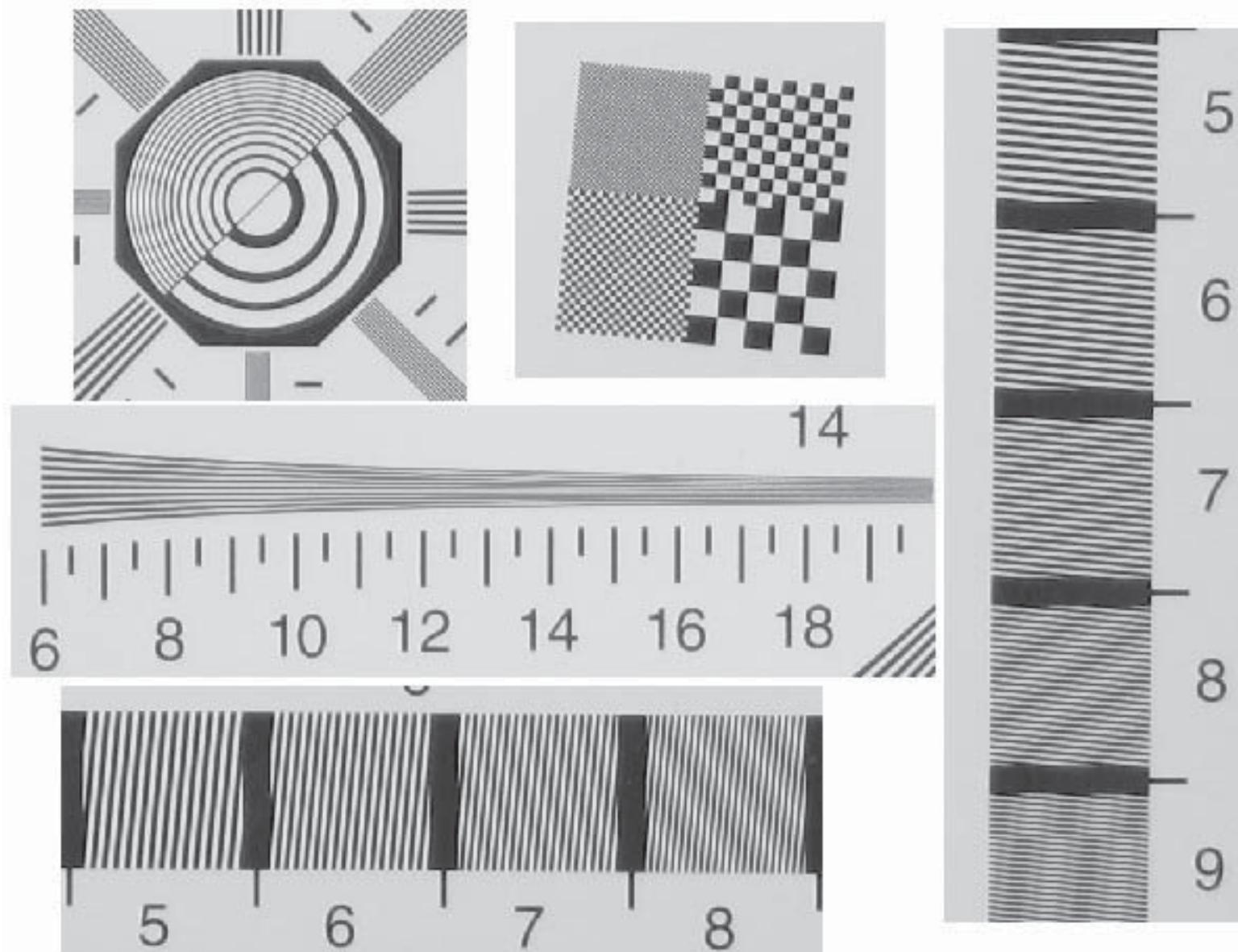
Aliasing example 80%



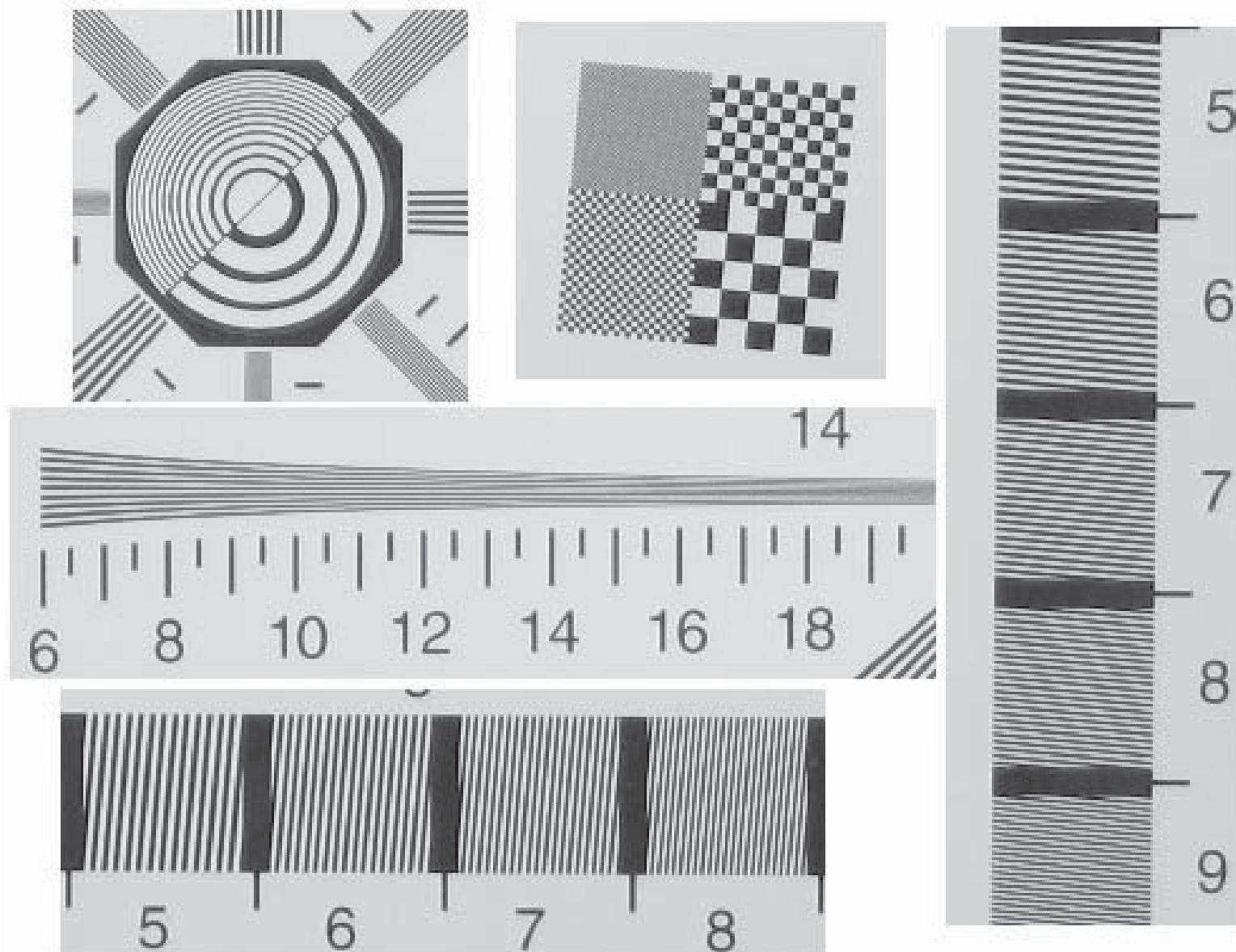
Aliasing example 70%



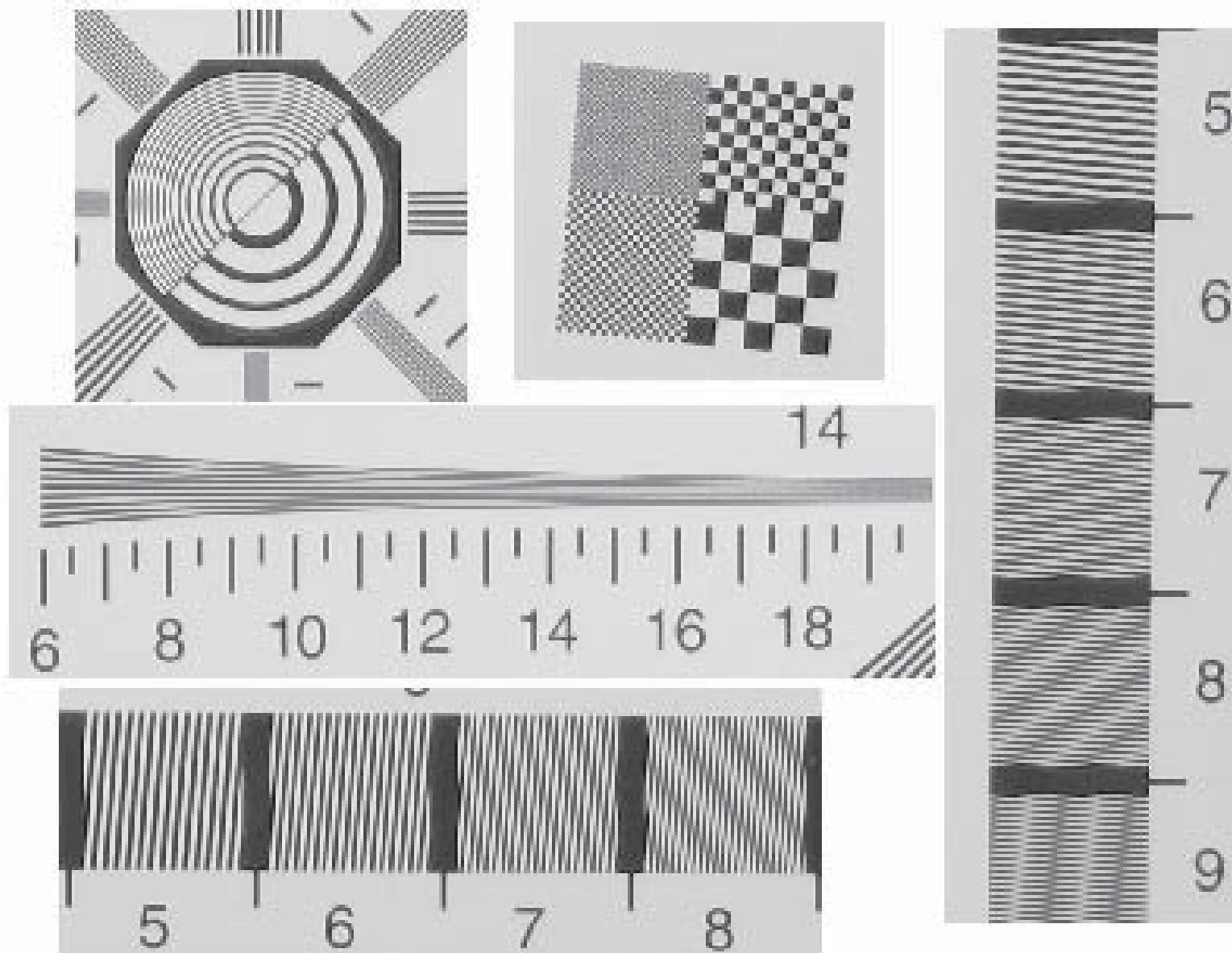
Aliasing example 60%



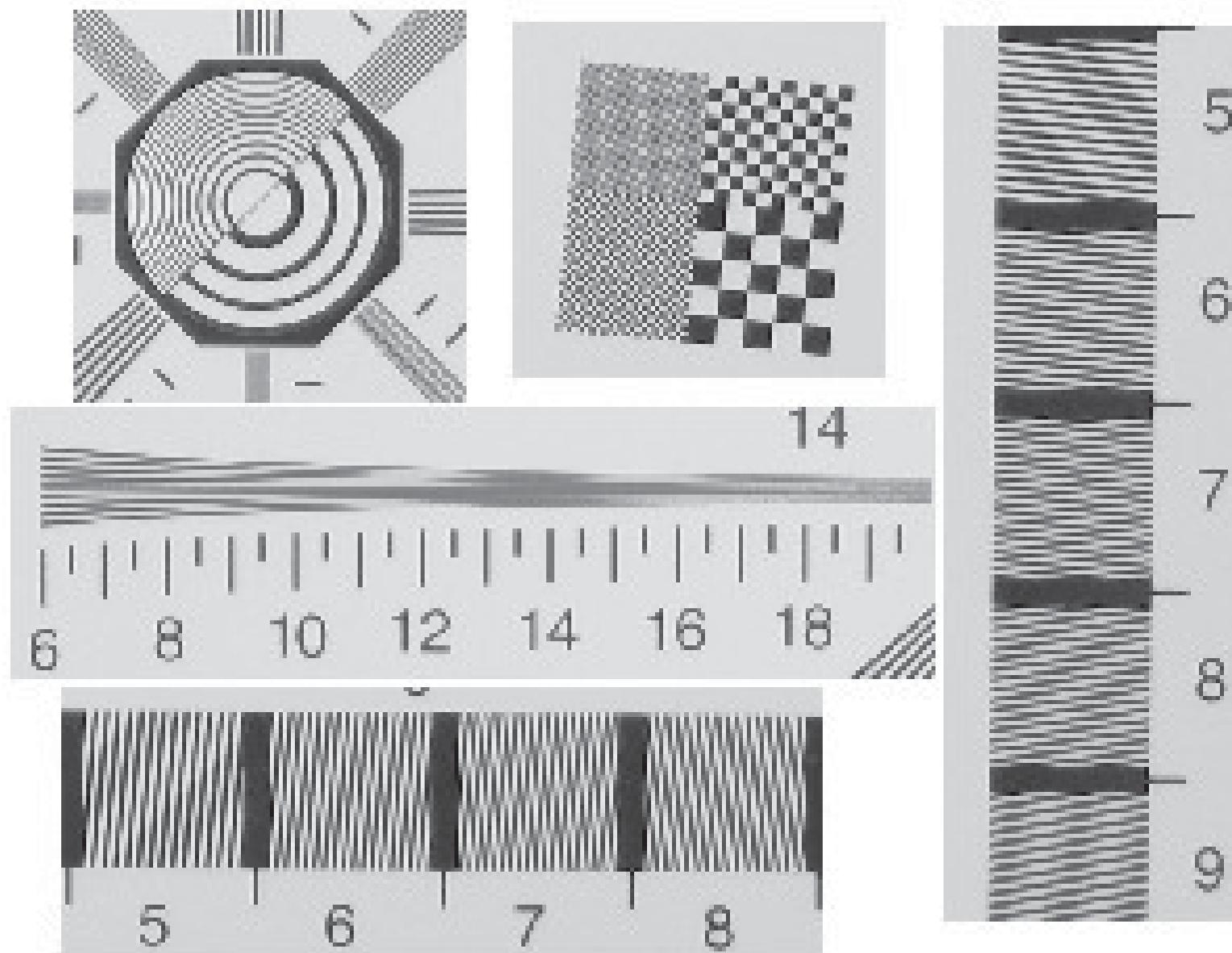
Aliasing example 50%



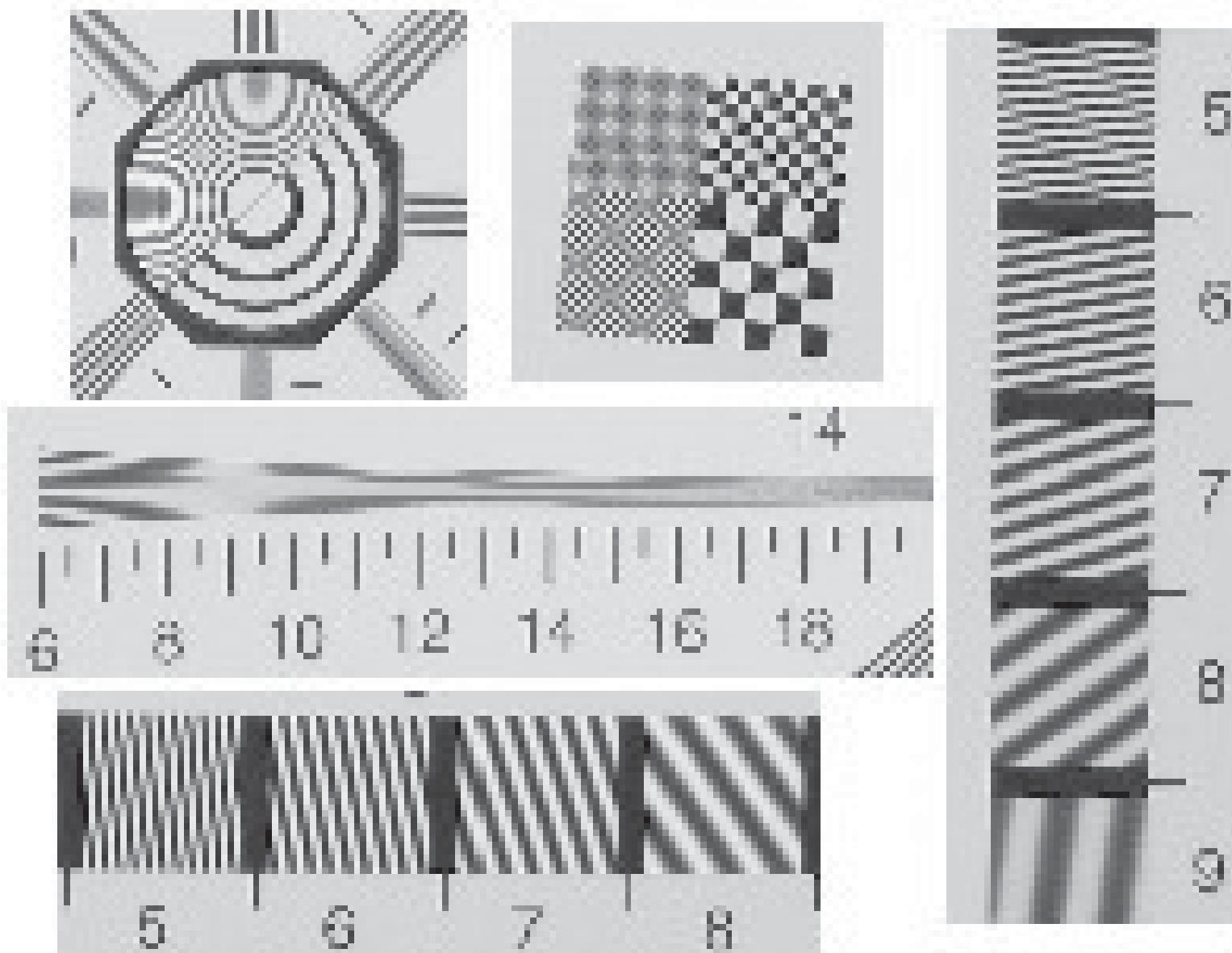
Aliasing example 40%



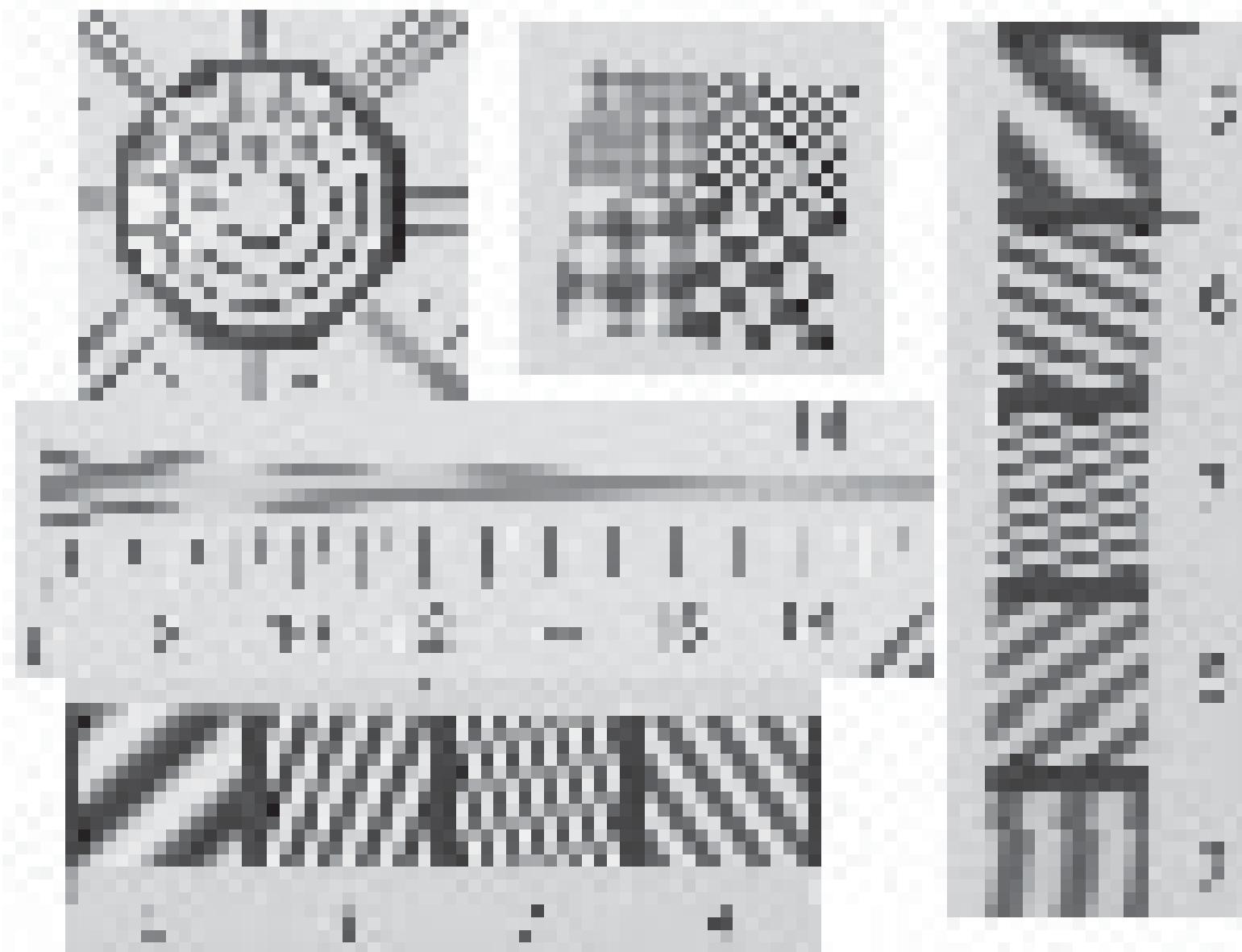
Aliasing example 30%



Aliasing example 20%



Aliasing example 10% (90%混疊)



Aliasing — problem in digital photography



Aliasing example 90%



Aliasing example 80%



Aliasing example 70%



Aliasing example 60%



Aliasing example 50%



Aliasing example 40%



Aliasing example 30%



Aliasing example 20%



Aliasing example 10%

48/90



What can we do against aliasing?

- ◆ Increase sampling frequency → number of pixels (but not only, optics is also important)
- ◆ Decrease the frequency → blurring

降低信号截止频率，例如低通滤波，可以抵消采样混淆。但同时因为滤除了高频细节，也会导致图像模糊

The same snapshots but the input image blurred (convolved) with 5×5 Gaussian with $\sigma = 2$:

Suppressed Aliasing



Suppressed Aliasing — example 90%



Suppressed Aliasing — example 80%

即将混叠的20%频率事先滤除



Suppressed Aliasing — example 70%



Suppressed Aliasing — example 60%



Suppressed Aliasing — example 50%



Suppressed Aliasing — example 40%



Suppressed Aliasing — example 30%



Suppressed Aliasing — example 20%



Suppressed Aliasing — example 10%



Sampling, Aliasing—Revisited

- ◆ Sampling is an important issue in images.
- ◆ Aliasing is typically not wanted.
- ◆ Aliasing is ubiquitous. Toy www example⁴

⁴<http://cmp.felk.cvut.cz/cmp/courses/EZS/Demos/Aliasing/>

Sampling, Aliasing—Revisited

- ◆ Sampling is an important issue in images.
- ◆ Aliasing is typically not wanted.
- ◆ Aliasing is ubiquitous. Toy www example⁴

Defeating Aliasing

- ◆ Low-pass filter before subsampling
- ◆ Subsampling by using image interpolation (will come to that later)

⁴<http://cmp.felk.cvut.cz/cmp/courses/EZS/Demos/Aliasing/>