

数字图像水印

人类视觉特点

人类获取的信息83%来自视觉， 11 %来自听觉， 3.5%来自嗅觉， 1.5%来自触觉， 1 %来自味觉等。

因此，从数字水印的设计者来看，最重要的事情就是要“骗过”人类的视觉，实现信息安全隐藏。

人类视觉特点

视觉范围

- 视觉范围是指人眼所能感觉的亮度范围
- 视觉范围非常宽，但是人眼并不能同时感受这样宽的亮度范围
- 当平均亮度比较适中时，能分辨的亮度的范围较大
- 当平均亮度较低时；能分辨的亮度范围较小
- 即使是客观上相同的亮度，当平均亮度不同时，主观感觉的亮度也不相同。比如，同样的亮度，在白天和在黑夜，主观亮度感觉是不同的

人类视觉特点

分辨力

- 人眼在一定距离上能区分开相邻两点的能力
- 与环境照度有关，照度太低太高都会影响分辨力
- 与物体的运动速度有关，速度大，则分辨力下降
- 对彩色的分辨力要比对黑白的分辨力低

人类视觉特点

视觉适应性

- 暗适应性。当我们从明亮的阳光下走进黑暗的电影院时，会感到一片漆黑，但是过一会后，视觉会逐渐恢复，人眼这种适应暗环境的能力称为暗适应性
- 亮适应性。从电影院走到阳光下时，会感到“眩目”，需要一个恢复过程才能适应，这种适应亮环境的能力称为亮适应性
- 通常亮适应性比暗适应性要快得多

人类视觉特点

视觉惰性（视觉暂留）

- 人眼对亮度改变进行跟踪的滞后性质称为视觉惰性

什么是数字图像

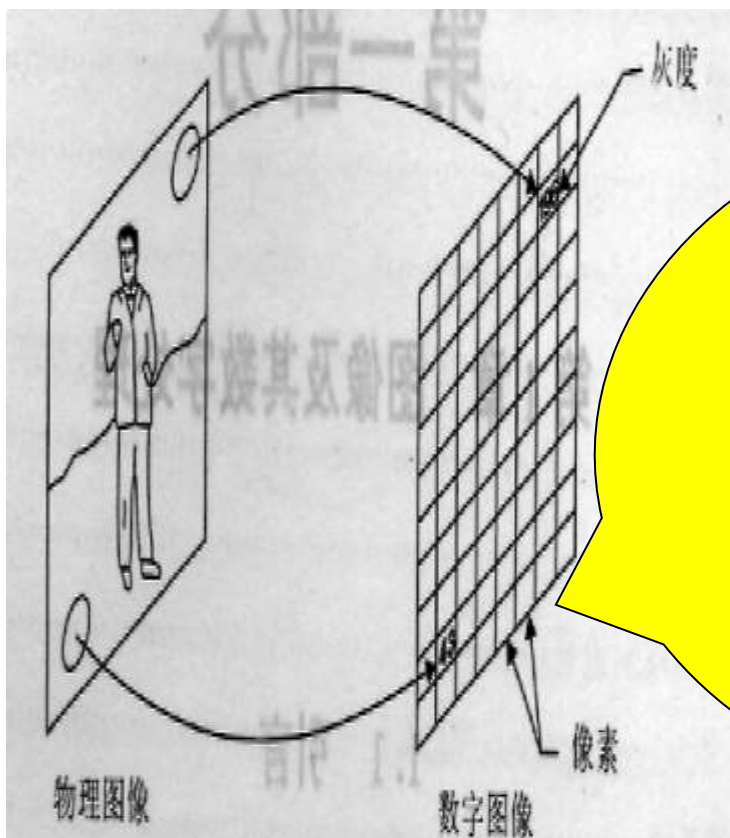
数字图像是指由被称作像素的小块区域组成的二维矩阵。将物理图像行列划分后，每个小块区域称为**像素**（pixel）。

每个像素包括两个属性：位置和灰度。

数字图像在显示屏幕上显示时，它的每个像素对应显示器的一个点。显示时采用扫描的方式：电子枪每次从左到右扫描一行，为每个像素着色，然后再从上到下扫描整个屏幕，利用人眼的视觉暂留效应就可以显示出一屏完整的图像。为了防止闪烁，每秒要重复上述过程几十次。我们常说的屏幕分辨率为 1024×768 ，刷新频率85Hz，每行扫描1024个像素，一共要扫描768行，每秒重复扫描屏幕85次。

数字图像水印概述——什么是数字图像

物理图像及对应的数字图像



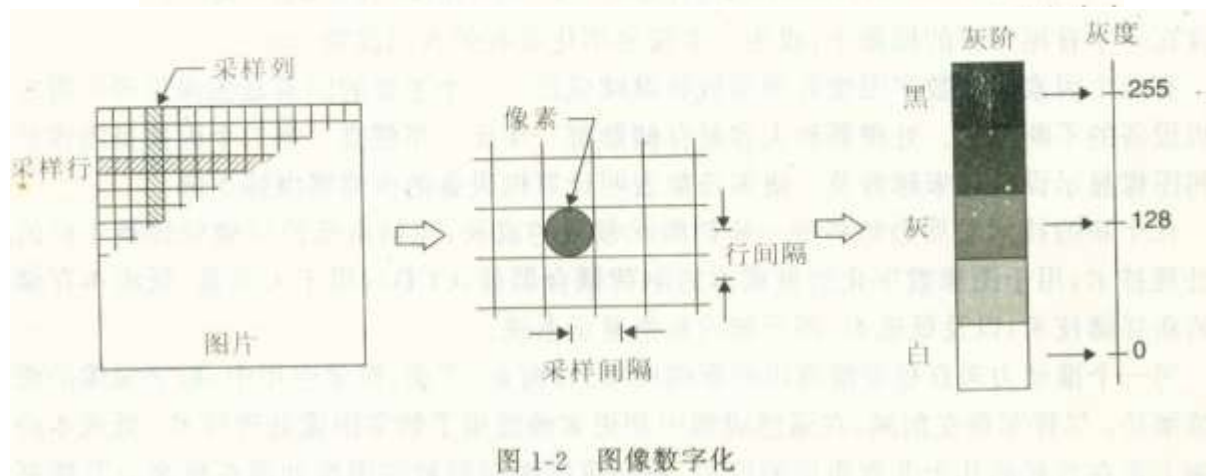
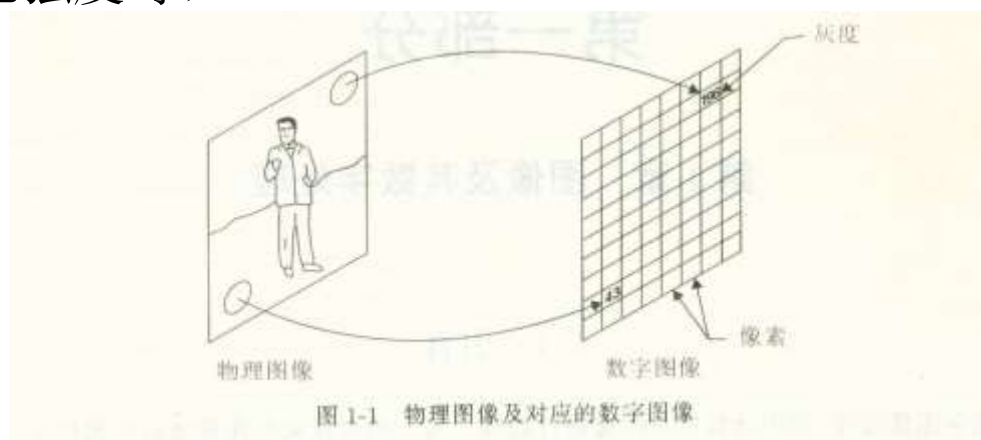
所谓“图”，就是物体透射或反射光的分布；“像”是人的视觉系统接收视觉信息而在人的大脑中形成的印象或认识。

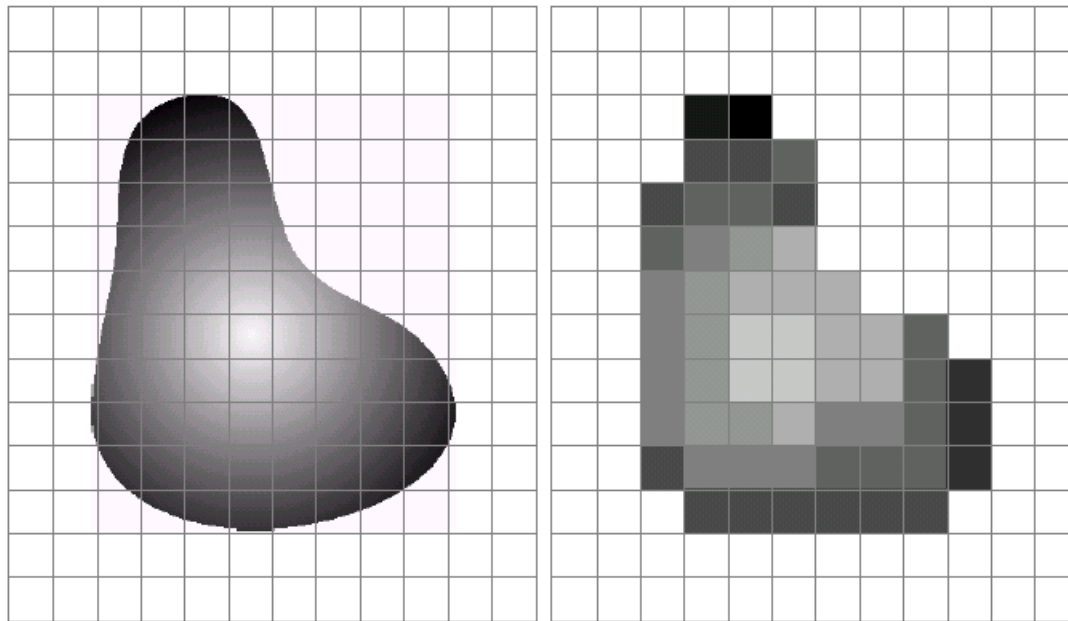
图像的取样和量化

大多数传感器的输出是连续的电压波形（图像），为了产生一幅数字图像，需要把连续的感知数据转换为数字形式。这就包含了两种处理，取样（时空域）和量化（光色强度等）。

取样和量化的基本概念

图像数字化=取样+量化





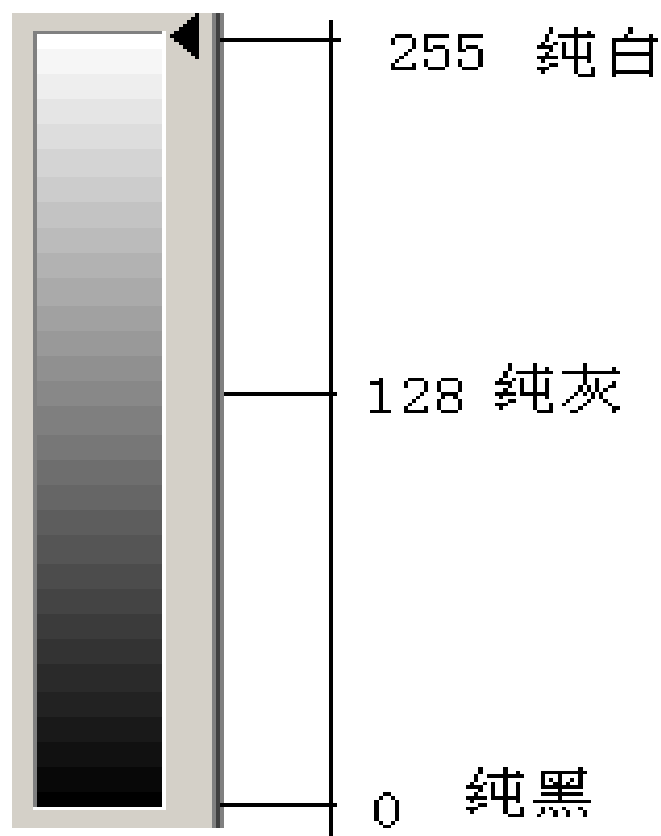
a b

FIGURE 2.17 (a) Continuous image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.

数字图像水印概述——什么是数字图像

对于单色即灰度图像而言，每个像素的亮度用一个数值来表示，通常数值范围在0到255之间，即可用一个字节来表示，0表示黑、255表示白，而其它表示灰度级别。

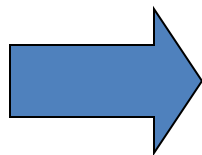
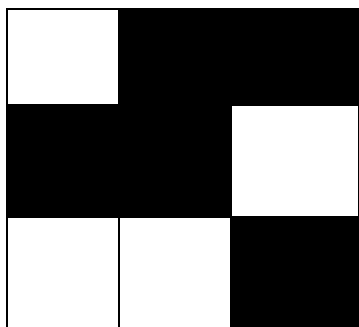
灰度级示意图



数字图像水印概述——什么是数字图像

黑白图像

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2值图像。2值图像的像素值为0、1。



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

数字图像水印概述——什么是数字图像

灰度图像 (128x128) 及其对应的数值矩
出一部分 (26x31)



```
125, 153, 158, 157, 127,  
70, 103, 120, 129, 144, 144, 150, 150, 147, 150, 160, 165, 160, 164, 165, 167, 17  
5, 175, 166, 133, 60,  
133, 154, 158, 100, 116, 120, 97, 74, 54,  
74, 118, 146, 148, 150, 145, 157, 164, 157, 158, 162, 165, 171, 155, 115, 88,  
49,  
155, 163, 95, 112, 123, 101, 137, 108, 81, 71, 63,  
81, 137, 142, 146, 152, 159, 161, 159, 154, 138, 81, 78, 84, 114, 95,  
167, 60, 95, 50, 65, 42, 95, 24, 60
```

数字图像水印概述——什么是数字图像

彩色图像可以用红、绿、蓝三元组的二维矩阵来表示。

通常，三元组的每个数值也是在0到255之间，0表示相应的基色在该像素中没有，而255则代表相应的基色在该像素中取得最大值，这种情况下每个像素可用三个字节来表示。

彩色图像(128x128)及其对应的数值矩阵（仅列出一部分(25x31)）

数字图像水印概述——什么是数字图像



(207, 137, 130)	(220, 179, 163)	(215, 169, 161)	(210, 179, 172)	(210, 179, 172)
(207, 154, 146)	(217, 124, 121)	(226, 144, 133)	(226, 144, 133)	(224, 137, 124)
(227, 151, 136)	(227, 151, 136)	(226, 159, 142)	(227, 151, 136)	(230, 170, 154)
(231, 178, 163)	(231, 178, 163)	(231, 178, 163)	(236, 187, 171)	(236, 187, 171)
(239, 195, 176)	(239, 195, 176)	(240, 205, 187)	(239, 195, 176)	(231, 138, 123)
(217, 124, 121)	(215, 169, 161)	(216, 179, 170)	(216, 179, 170)	(207, 137, 120)
(159, 51, 71)	(189, 89, 101)	(216, 111, 110)	(217, 124, 121)	(227, 151, 136)
(227, 151, 136)	(226, 159, 142)	(226, 159, 142)	(237, 159, 135)	(237, 159, 135)
(231, 178, 163)	(236, 187, 171)	(231, 178, 163)	(236, 187, 171)	(236, 187, 171)
(236, 187, 171)	(239, 195, 176)	(239, 195, 176)	(236, 187, 171)	(227, 133, 118)
(213, 142, 135)	(216, 179, 170)	(221, 184, 170)	(190, 89, 89)	(204, 109, 113)
(204, 115, 118)	(189, 85, 97)	(159, 60, 78)	(136, 38, 65)	(160, 56, 75)

2.4.3 空间和灰度的分辨率

空间分辨率

空间分辨率是图像中可分辨的最小细节。广泛使用的分辨率的意义是在每单位距离可以分辨的最小线对数目。

通常，空间分辨率即图像大小（最大行数×每行最大像素数）。

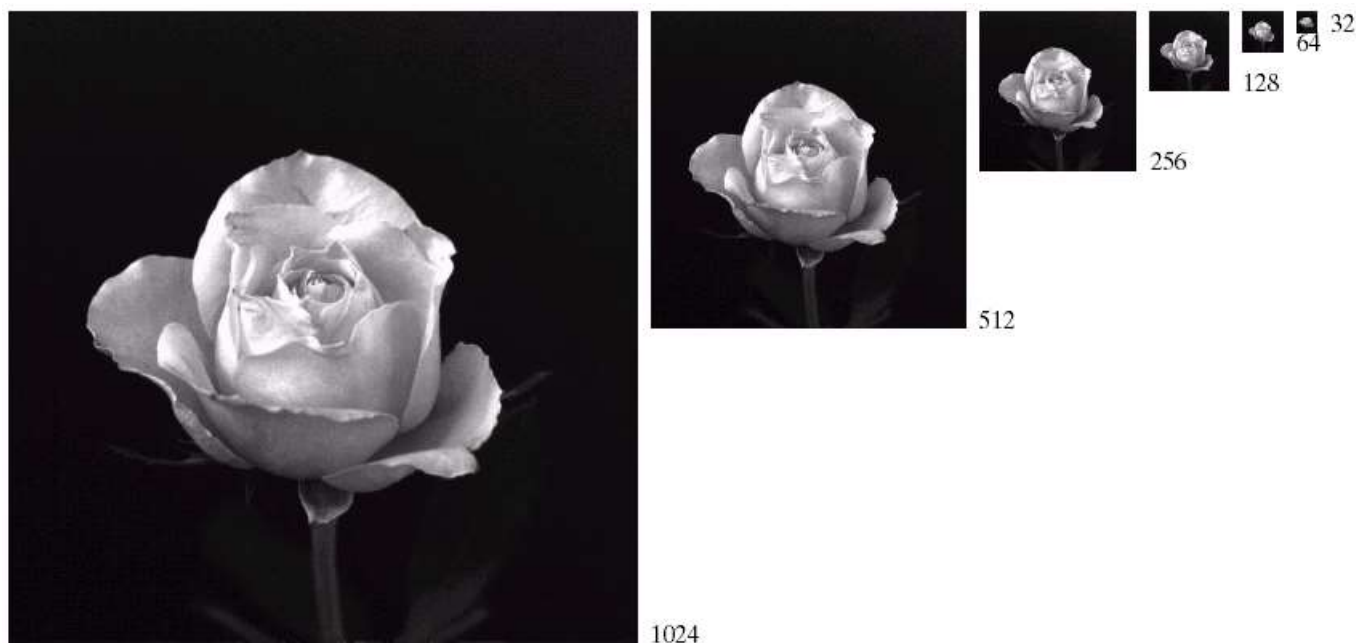
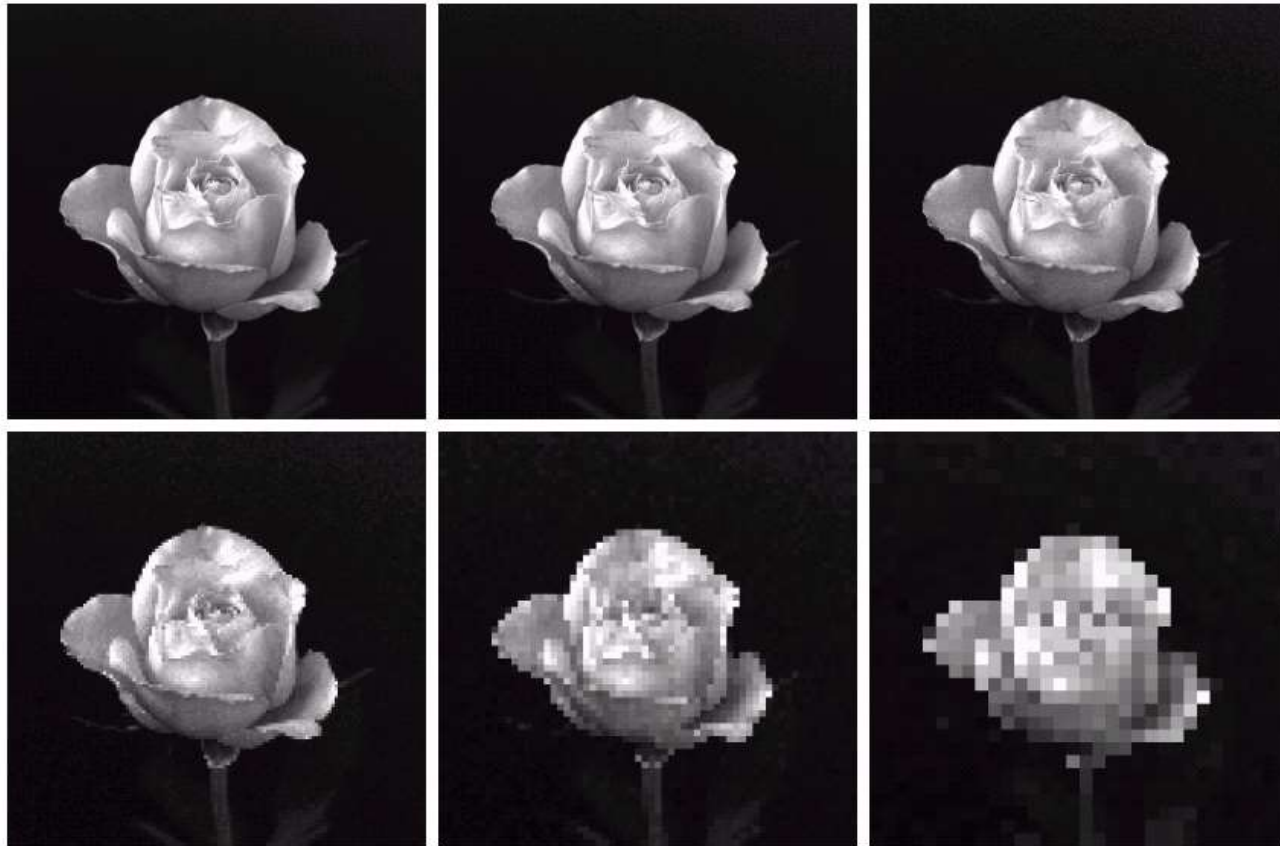


FIGURE 2.19 A 1024×1024 , 8-bit image subsampled down to size 32×32 pixels. The number of allowable gray levels was kept at 256.



a	b	c
d	e	f

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

灰度分辨率

灰度分辨率：一个像素值单位幅度上包含的灰度级数。灰度级数通常是2的整数幂级数，如：用一个byte存一个像素值，则256级。

用一个4bit存一个像素值，则16级

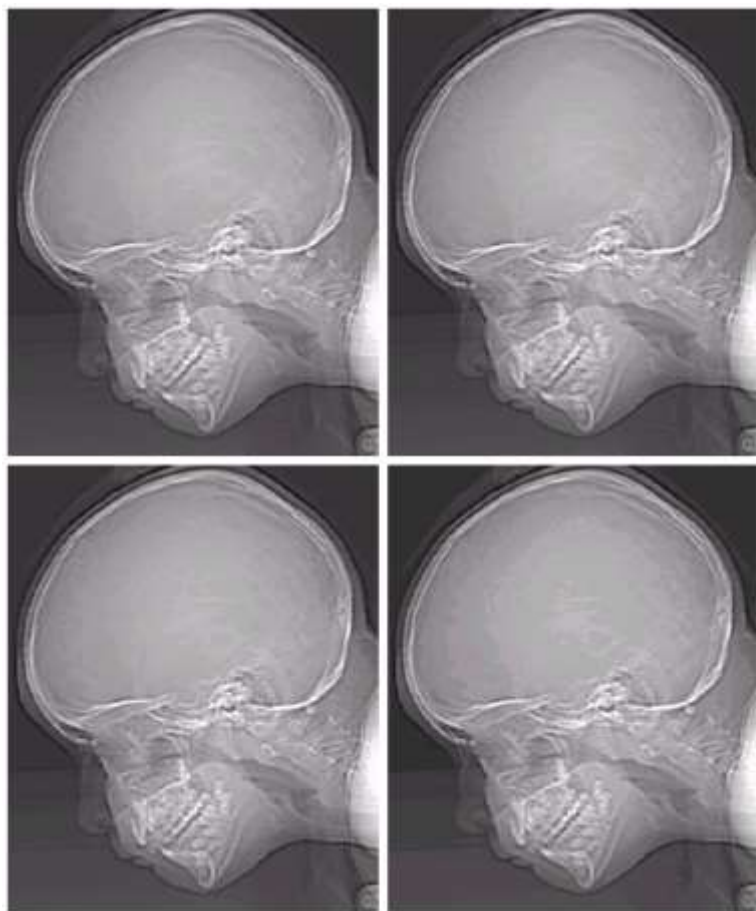
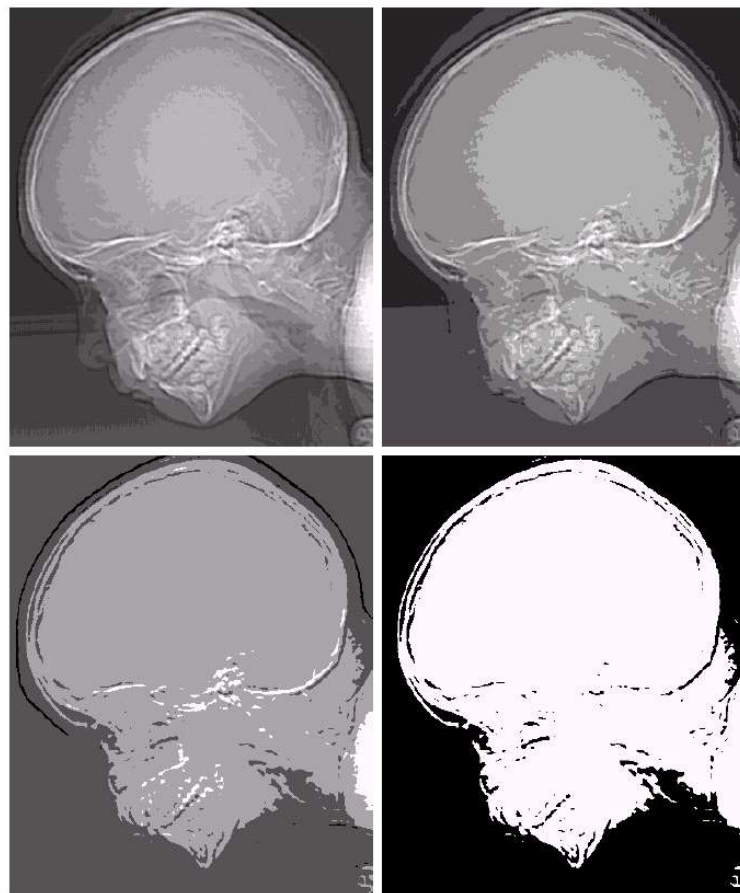


FIGURE 2.21
(a) 452×374 , 256-level image. (b)–(d) Image displayed in 128, 64, and 32 gray levels, while keeping the spatial resolution constant.

FIGURE 2.21
(Continued)
(e)–(h) Image displayed in 16, 8, 4, and 2 gray levels. (Original courtesy of Dr. David R. Pickens, Department of Radiology & Radiological Sciences, Vanderbilt University Medical Center.)



数字图像水印概述——什么是数字图像

色彩系统

为了呈现五彩缤纷的图像，我们必须对图像的像素进行着色。
常用的色彩系统：

(1) RGB色彩系统

众所周知，自然界中的所有颜色都可以由红、绿、蓝（R、G、B）3原色组合而成。我们把3原色人为地分成从0到255共256个等级，比如R=0，表示不含红色；R=255表示含有100%的红色成分。这样，根据红、绿、蓝各种不同的组合我们可以表示出 $256 \times 256 \times 256$ (约1600万)种颜色。

当一幅图像中每个像素点被赋予不同的RGB值时，就能形成彩色图像了。

数字图像水印概述——什么是数字图像

(2) HSI色系

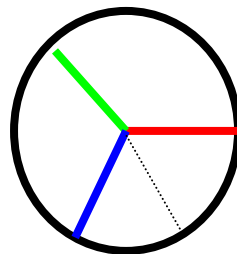
这种彩色系统格式的设计反映了人类观察彩色的方式。如：

红色又分为浅红和深红色等等。

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。



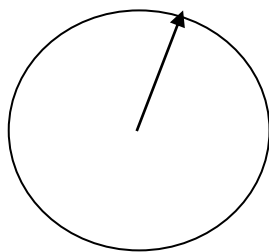
H: 表示色度，由角度表示。反映了该颜色最接近什么样的光谱波长（既彩虹中的那种颜色） 0° 为红色， 120° 为绿色， 240° 为蓝色。 0° 到 240° 覆盖了所有可见光谱的颜色， 240° 到 300° 是人眼可见的非光谱色（紫色）。



数字图像水印概述——什么是数字图像

(2) HSI 色系

S: 表示饱和度，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。



数字图像水印概述——什么是数字图像

RGB到HSI的转换:

$$I = \frac{1}{\sqrt{3}} (R + G + B)$$

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

$$H = \begin{cases} \theta & G \geq B \\ 2\pi - \theta & G < B \end{cases} \quad \theta = \cos^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right]$$

数字图像水印概述——什么是数字图像

HSI到RGB的转换

1) 当 $0^\circ \leq H \leq 120^\circ$ 时

$$R = \frac{I}{\sqrt{3}} \left[1 + \frac{S \cos(H)}{\cos(60^\circ - H)} \right]$$

$$B = \frac{I}{\sqrt{3}} (1 - S)$$

$$G = \sqrt{3}I - R - B$$

数字图像水印概述——什么是数字图像

2)

当 $120^\circ \leq H \leq 240^\circ$ 时

$$G = \frac{I}{\sqrt{3}} \left[1 + \frac{S \cos(H - 120^\circ)}{\cos(180^\circ - H)} \right]$$

$$R = \frac{I}{\sqrt{3}} (1 - S)$$

$$B = \sqrt{3}I - R - G$$

3) 当 $240^\circ \leq H < 300^\circ$ 时

$$B = \frac{I}{\sqrt{3}} \left[1 + \frac{S \cos(H - 240^\circ)}{\cos(300^\circ - H)} \right]$$

$$G = \frac{I}{\sqrt{3}} (1 - S)$$

$$R = \sqrt{3}I - G - B$$

数字图像水印概述——什么是数字图像

(3) YIQ色彩系统

YIQ色彩系统通常被北美的电视系统采用。Y不是指黄色，而是指颜色的亮度(Luminance)，即亮度(Brightness)。I和Q则是指色调(Chrominance)，描述图像色彩及饱和度的属性。

RGB与YIQ之间的对应关系如下：

$$\begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0.956 & 0.621 \\ 1 & -0.272 & -0.647 \\ 1 & -1.106 & -1.703 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix}$$

数字图像水印概述——什么是数字图像

(4) YUV色彩系统

YUV色彩系统被欧洲电视系统采用（属于PAL）。Y指明视度，U和V虽然也是指色调，但是和I与Q的表达方式不同。

RGB色彩系统与YUV色彩系统的对应关系：

$$\begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.148 & -0.289 & 0.437 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1.140 \\ 1 & -0.395 & -0.581 \\ 1 & 2.032 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix}$$

数字图像水印概述——什么是数字图像

(5) YCbCr色彩系统

YCbCr色彩系统也是一种常见的色彩系统，JPEG采用的就是该系统。它是从YUV色彩系统衍生出来的。Y是指明视度，Cb和Cr是将U和V作少量调整得到的。

RGB色彩系统与YCbCr色彩系统的对应关系：

$$\begin{pmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.2990 & 0.5870 & 0.1140 & 0 \\ -0.1687 & -0.3313 & 0.5000 & 128 \\ 0.5000 & -0.4187 & -0.0813 & 128 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1.40200 & 0 \\ 1 & -0.34414 & -0.71414 \\ 1 & 1.77200 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y \\ Cb - 128 \\ Cr - 128 \end{pmatrix}$$

数字图像水印概述——什么是数字图像

调色板

如果一幅图像的每个像素都用RGB分量表示，我们知道每个分量由256个等级，需要有1个字节表示。那么，一个像素的颜色信息需要用3个字节表示，图像文件将会变得非常大。实际上并不是这样做的，我们先来看一个简单的计算。

对一幅 200×200 的16色图像，它共有40000个像素，如果一个像素都用R、G、B三个分量来表示，一个像素需要3个字节，这样保存整个图像要用 $200 \times 200 \times 3 = 120000$ 个字节！但是我们用下面的方法表示图像，可以节省很多字节。

由于图像只有16种颜色，我们可以创建一个颜色表：表中的每一行表示一种颜色的R、G、B值。这样当表示一个像素的颜色时，只需指出改颜色是在第几行，

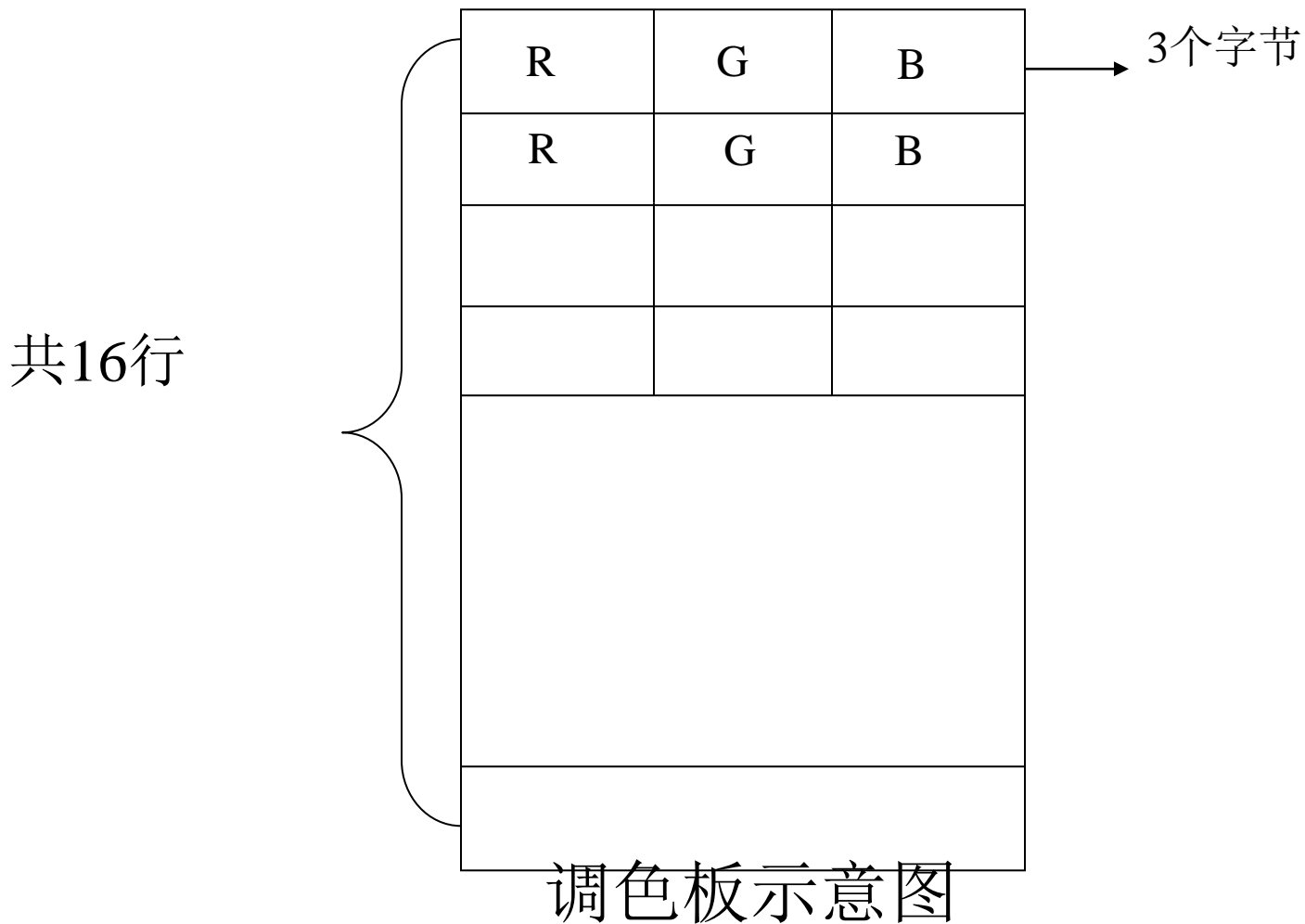
数字图像水印概述——什么是数字图像

即该颜色在表中的索引值。16种状态可以用4位表示，所以一个像素要用半个字节，整个图 $200 \times 200 \times 0.5$ ，即20000个字节，再加上颜色表需要 $3 \times 16 = 48$ 个字节，共20048个字节。它是前面的 $\frac{1}{6}$ 。

这里的RGB颜色表，就是通常所说的调色板。在Windows位图中，就用到了调色板技术。但是，并不是所用的彩色图像利用调色板技术，都可以节省字节。在真彩色图像中（又称24位图像）共有 $256 \times 256 \times 256$ ，如果利用调色板技术，表示一个像素颜色在调色板中的索引值需要24位，这和直接用R、G、B三个颜色分量表示所需要的字节数一样，不但没有节省任何空间，还要加上一个

$256 \times 256 \times 256 \times 3$ 个字节大的调色板。

数字图像水印概述——什么是数字图像



数字图像水印概述

-数字图像处理系统的基本结构

数字图像处理 数字图像处理就是利用计算机或其它数字硬件，对图像信息转换而得的电信号进行某些数学运算，以提高图像的实用性。

数字图像水印概述

—数字图像处理系统的基本结构

数字图像处理系统由图像数字化设备、图像处理计算机和图像输出设备组成。



图像数字化设备

图像采集卡等

图像处理计算机：PC、工作站等（通常将存储设备也包括在内）

图像输出设备：打印机、绘图仪等

数字图像水印概述

——数字图像处理术语

点运算

点运算主要是针对图像的像素进行加、减、乘、除运算。它能够有效的改进图像的直方图分布。

几何处理

几何处理主要包括图像的平移、缩放、旋转、扭曲校正等。它是最常见的图像处理手段。

正交变换

正交变换的主要目的就是将图像信息从空域转到变换域进行研究，包括离散傅立叶变换（DFT）、离散余弦变换（DCT）、沃尔什变换、小波变（DWT）换等。

图像视觉评价

1) 主观评价

- 让观察者根据一些事先规定的评价尺度或自己的经验，对测试图像按视觉效果提出质量判断，并给出质量分数，对所有观察者给出的分数进行加权平均。这种方法称为平均意见分（ MOS ）方法

2) 客观评价

- 以机器为主体对图像质量进行评价

图像视觉评价

主观评价

- 比较准确
- 受观察者的知识背景、情绪和疲劳程度等因素的影响
- 可重复性较差

图像视觉评价

客观评价

- 对一个系统中输入和输出的图像信号做处理和分析，一般是从图像中提取一些特征参量作为研究分析对象，处理并作比较。从总体上反映了图像间的差别
- 常用的有
 - 均方误差（MSE）
 - 峰值信噪比（PSNR Peak Signal-to-Noise Ratio）
- 使用方便
- 可重复性强
- 评价结果与主观感觉有时存在不一致

图像视觉评价

客观评价

峰值信噪比（ PSNR-Peak Signal-to-Noise Ratio ）：
对隐藏信息后的图像进行质量评价的指标， 反映峰值信号与噪声（ 误差） 的比值。定义为 $PSNR = 10 \lg(255^2 / MSE)$ ， 这里的MSE是原始图像和隐藏信息后图像的平均平方误差。

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (h[i][j] - h'[i][j])^2}$$

图像视觉评价

为什么客观评价与主观评价不能很好吻合？

- 人眼对所看到物体的理解，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
- 如“视而不见”，“听而不闻”
- 对感兴趣的区域给予极大关注，对其它区域不在意
- 大脑对所接收的事务有一个过滤和取舍的过程，目前计算机还无法很好地模拟此过程

高斯噪声（弱）

椒盐噪声（弱）



PSNR(dB)

48.1183



PSNR(dB)

50.9538

高斯噪声（中）



PSNR(dB)

34.1389

椒盐噪声（中）



PSNR(dB)

35.1996

高斯噪声（强）



PSNR(dB)

28.1183

椒盐噪声（强）



PSNR(dB)

29.0575

图像视觉评价

上面各图中，PSNR不同时，人的视觉主观感觉有可能相同

推断：

单用主观感觉来衡量图像受到的干扰情况是不准确的。

加入人为干扰 (一)



PSNR(dB)

23.1805



PSNR(dB)

23.5164

加入人为干扰 (二)



PSNR(dB)

23.5084



PSNR(dB)

23.2079

图像视觉评价

上面各图中，左图可以被接受，而右图质量无法被接受。但是单从PSNR值来看，它们之间区别不大。

推断：

对于这种类型的干扰，用PSNR值无法对图像的质量给出准确的评价。

图像视觉评价

由上面两个例子可知，常用的客观失真度量，只能忠实地反映两信号之间差别的大小，而不能准确地反映人的感官系统对这些信号质量的评价程度。

水印嵌入位置的选择

水印嵌入位置的选择应该考虑：

- ① 安全性问题：指嵌入的水印不能被非法使用者轻易地提取出来，或者是被轻易的擦除。
- ② 对载体质量的影响问题：嵌入的水印，应该不能影响数字载体的使用，嵌入水印引起的失真，应该对人类的感官是不可察觉的。

水印嵌入位置的选择

基于心理视觉考虑的水印嵌入位置选择

对图像而言：

纹理较复杂的区域、物体的边缘区域，人类的视觉系统对这些位置的失真苇太敏感，适合嵌入。

图像取值比较均匀的光滑区域，人眼对这些地方的失真非常敏感，不适合嵌入。

工作域的选择

水印的嵌入可以在不同的工作域上进行

- ① 空间域： 如拼凑算法、**LSB**算法等。
- ② 变换域： 如离散傅立叶变换（**DFT**）、离散余弦变换（**DCT**）、离散小波变换（**DWT**） 等等。

空间域算法：

实现简单，但鲁棒性和不可见性较差。

频率域算法：

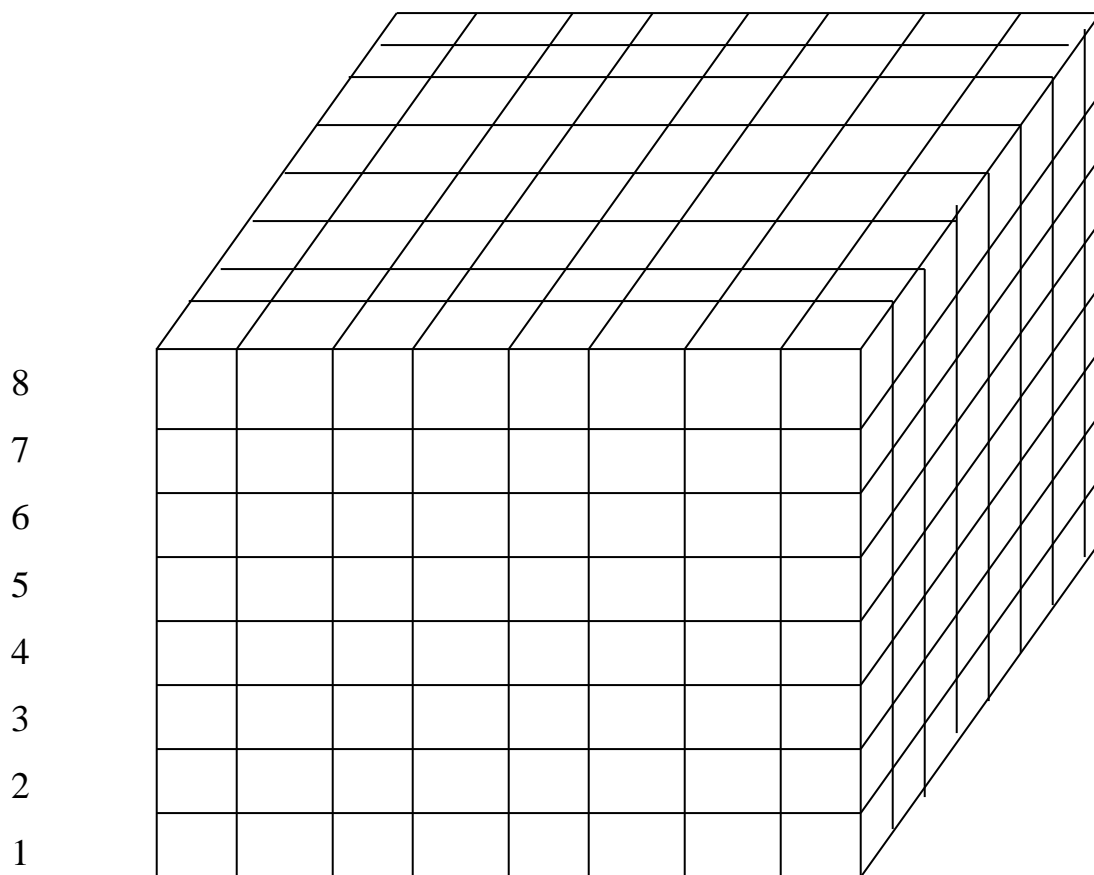
生成的水印鲁棒性较强，不可觉察性好，应用广泛。

频域算法的优点：

图像压缩等操作较多地影响频率域中的高频部分，嵌入水印时有可能地避开。

叠加在频率域上的信号经反变换后会遍布整个空间域的所有像素。

数字图像水印概述



空域水印实例:图像的位平面表示

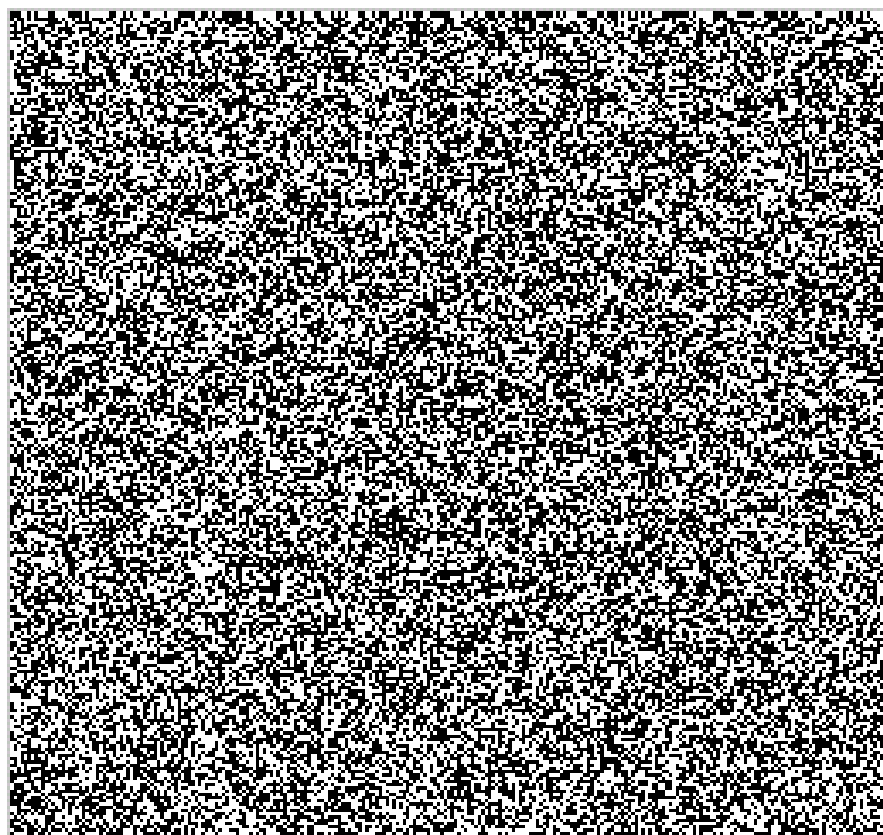
数字图像水印概述

Lena原图：8-bit灰度BMP图像



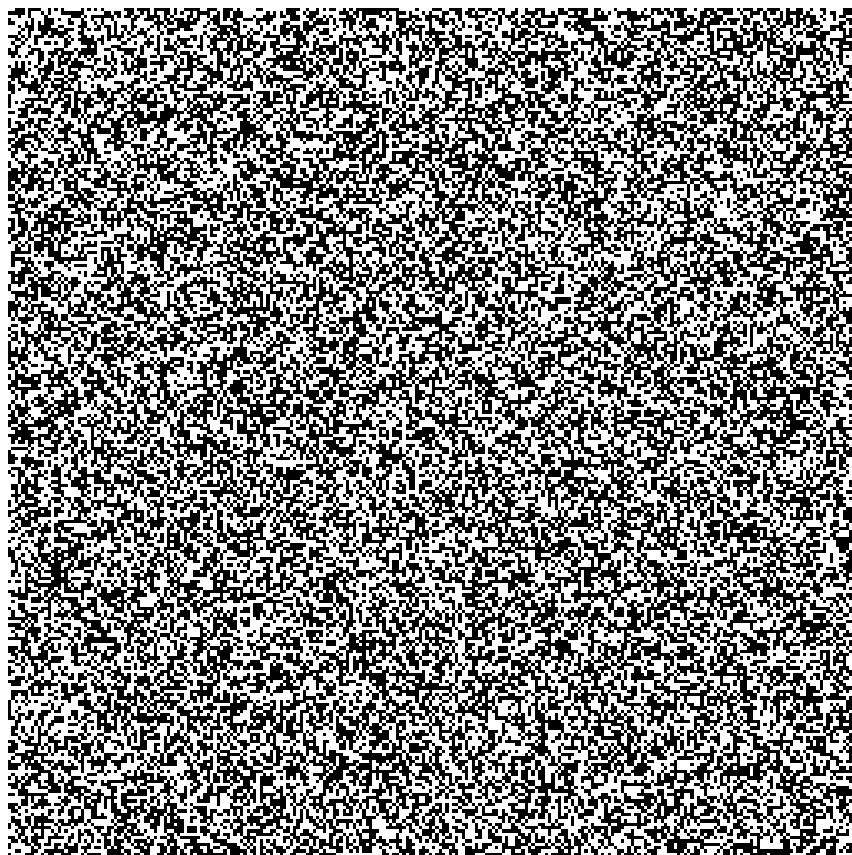
数字图像水印概述

第一个位平面与去掉第1个位平面的Lena:



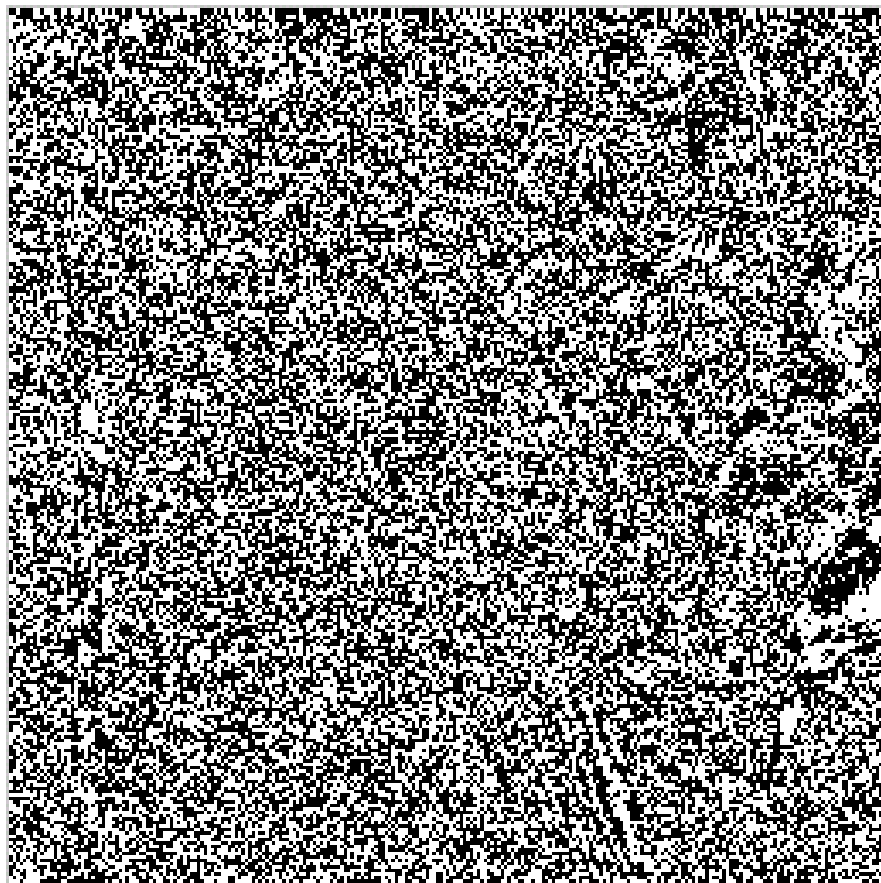
数字图像水印概述

第二个位平面与去掉第1-2个位平面的Lena:



数字图像水印概述

第三个位平面与去掉第1-3个位平面的Lena:



数字图像水印概述

第四个位平面与去掉第1-4个位平面的Lena:



数字图像水印概述

第五个位平面与去掉第1-5个位平面的Lena:



数字图像水印概述

第六个位平面与去掉第1-6个位平面的Lena:



数字图像水印概述

第七个位平面与去掉第1-7个位平面的Lena:



数字图像水印概述

第八个位平面Lena:



总结：根据图象位平面和能量分布情况，第1,第2,甚至第3个位平面完全可以用其它的比特矩阵去替换，而不影响图象的视觉效果。而高位平面不可隐藏信息。

优点：操作简单,隐藏信息量大。

缺点：隐藏的信息易被破坏。

改进：选择位置，加密

空间域水印算法

空域水印处理——直接修改图像的像素值，将水印信息直接加在图像数据上。

最低有效位（LSB）方法 LSB (*Least Significant Bit*)

对于8位的灰度图像，每个像素的灰度值 g 可用下式表示：

$$g = \sum_{i=0}^7 b_i 2^i$$

b_i 表示像素第 i 位的取值， b_i 为0或1。

形成8个位平面：MSB（最高有效位7）LSB（最低有效位为0）。

位平面图像细节少 → 不断增加 → 细节最多

低位所代表的能量很少，改变低位对图像的质量没有太大的影响。

LSB方法——将水印信息嵌入到图像像素点中最不重要的低位像素位上，其作用类似于图像的加性噪声，保证嵌入的水印不可见。

优点：实现较简单，不可见性较好，隐藏量较大。

问题：鲁棒性不强。

水印信息容易被图像滤波、像素量化、几何变形等操作破坏。

LSB算法嵌入步骤

①将原始载体图像的空域像素值由十进制转换到二进制表示，以3*3大小的块图像为例

255	253	254		11111111	11111101	11111110
253	255	253	→	11111101	11111111	11111101
252	255	254		11111100	11111111	11111110

②用二进制秘密信息中的每一比特信息替换与之相对应的载体数据的最低有效位，假设待嵌入的二进制秘密信息序列为[0 1 1 0 0 0 1 0 0]，则替换过程如下所示。

11111111	11111101	11111110		1111111 <u>0</u>	1111110 <u>1</u>	1111111 <u>1</u>
11111101	11111111	11111101	→	1111110 <u>0</u>	1111111 <u>0</u>	1111110 <u>0</u>
11111100	11111111	11111110		1111110 <u>1</u>	1111111 <u>0</u>	1111111 <u>0</u>

③用将得到的含秘密信息的二进制数据转换为十进制像素值，从而获得含秘密信息的图像，如下所示。

1111111 <u>0</u>	1111110 <u>1</u>	1111111 <u>1</u>		254	253	255
1111110 <u>0</u>	1111111 <u>0</u>	1111110 <u>0</u>	→	252	254	252
1111110 <u>1</u>	1111111 <u>0</u>	1111111 <u>0</u>		253	254	254

LSB算法提取步骤

①将得到的隐藏有秘密信息的十进制像素值转换为二进制数据，如下所示

254	253	255		1111111 <u>0</u>	1111110 <u>1</u>	1111111 <u>1</u>
252	254	252	→	1111110 <u>0</u>	1111111 <u>0</u>	1111110 <u>0</u>
253	254	254		1111110 <u>1</u>	1111111 <u>0</u>	1111111 <u>0</u>

②将二进制数据的最低有效位提取出来，即为秘密信息序列 [0 1 1 0 0 0 1 0 0]。如下所示。

1111111 <u>0</u>	1111110 <u>1</u>	1111111 <u>1</u>	
1111110 <u>0</u>	1111111 <u>0</u>	1111110 <u>0</u>	→ 0 1 1 0 0 0 1 0 0
1111110 <u>1</u>	1111111 <u>0</u>	1111111 <u>0</u>	

频率域水印算法

频率域水印处理——先将图像转换到频率域，然后将水印信息加在图像的频率域数据上。

离散余弦变换(DCT) : (Discrete Cosine Transform)

对于M*N的灰度图像，二维离散余弦变换可用下式表示：

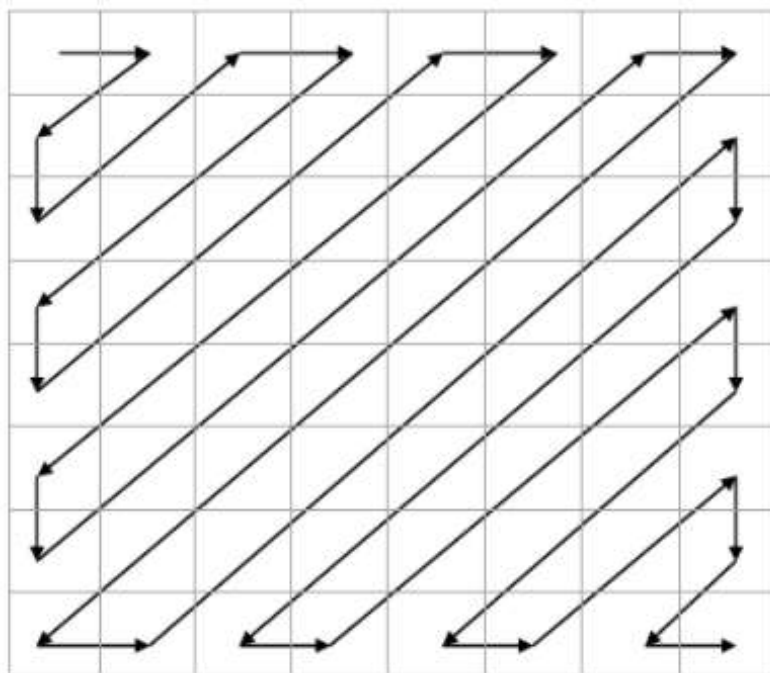
$$F(u, v) = \frac{1}{\sqrt{MN}} c(u) c(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos \left[\frac{\pi u (2x+1)}{2M} \right] \cos \left[\frac{\pi v (2y+1)}{2N} \right]$$

$u = 0, 1, 2, \dots, M-1 \quad v = 0, 1, 2, \dots, N-1$

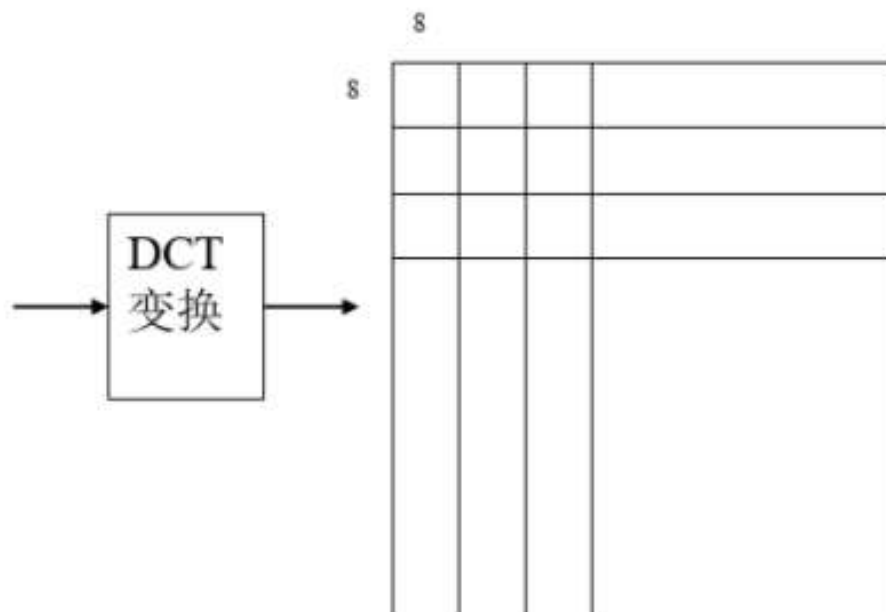
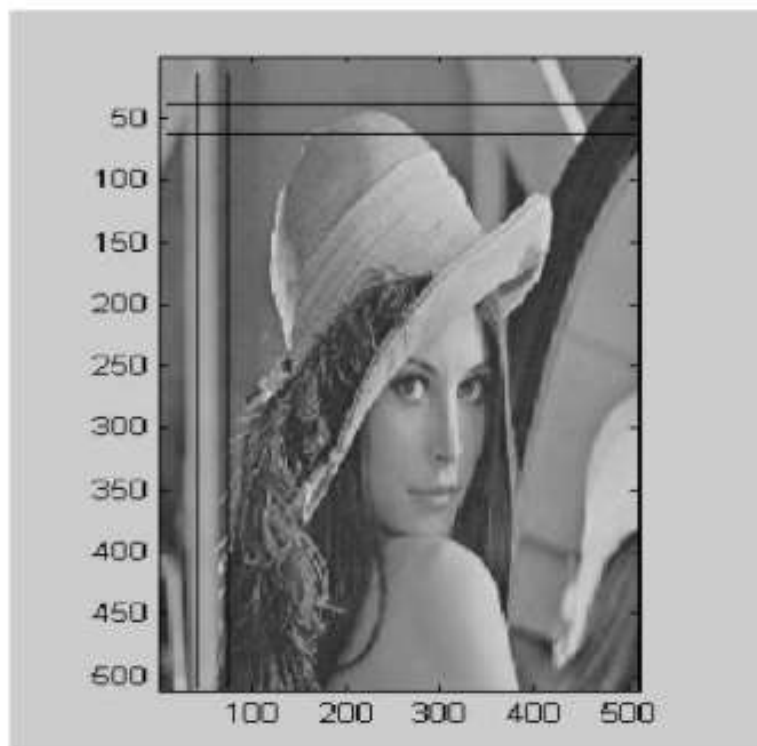
$$\text{其中 } c(u) = \begin{cases} 1 & u = 0 \\ \sqrt{2} & u \neq 0 \end{cases}, \quad c(v) = \begin{cases} 1 & v = 0 \\ \sqrt{2} & v \neq 0 \end{cases}$$

在实际中，常将图片分为 8×8 的像素块，进行二维DCT变换，得到 8×8 的DCT系数。每一个块嵌入一定的秘密信息。

系数按照Zig-Zag次序排列，左上角为直流系数，其余为交流系数。左上角部分为低频，右下角部分为高频，中间区域为中频。中低频系数包含了图像的大部分能量，是对人的视觉最重要的部分



Zig-Zag次序



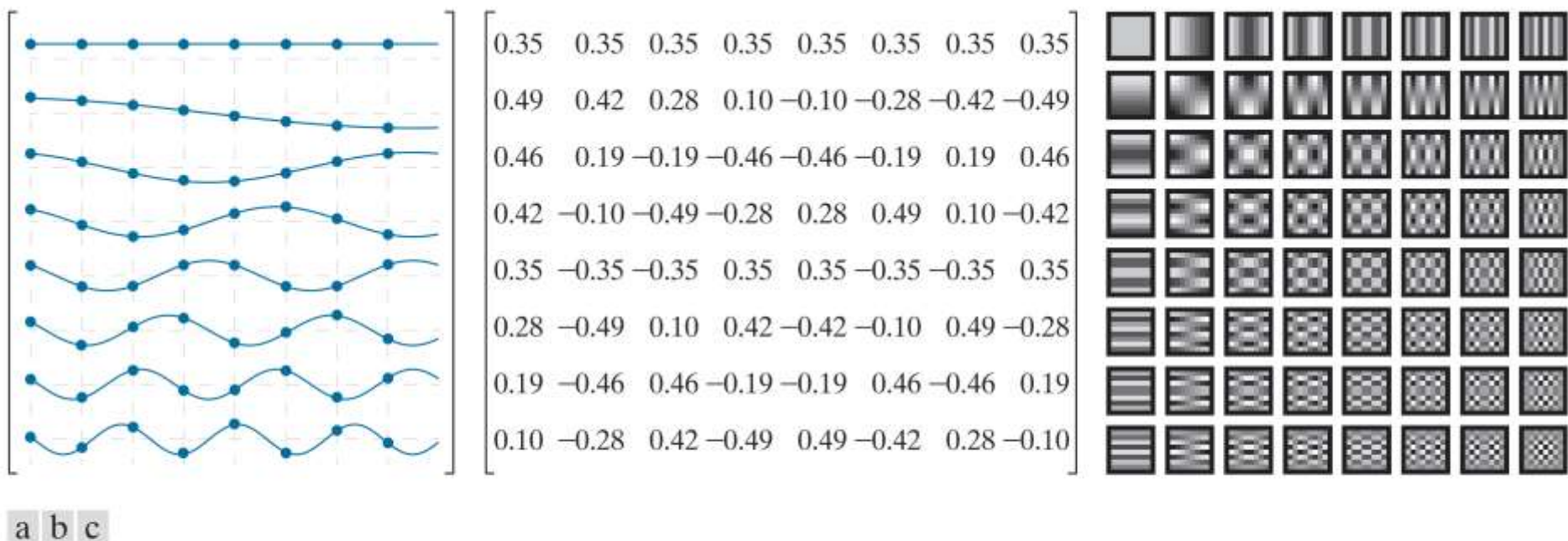
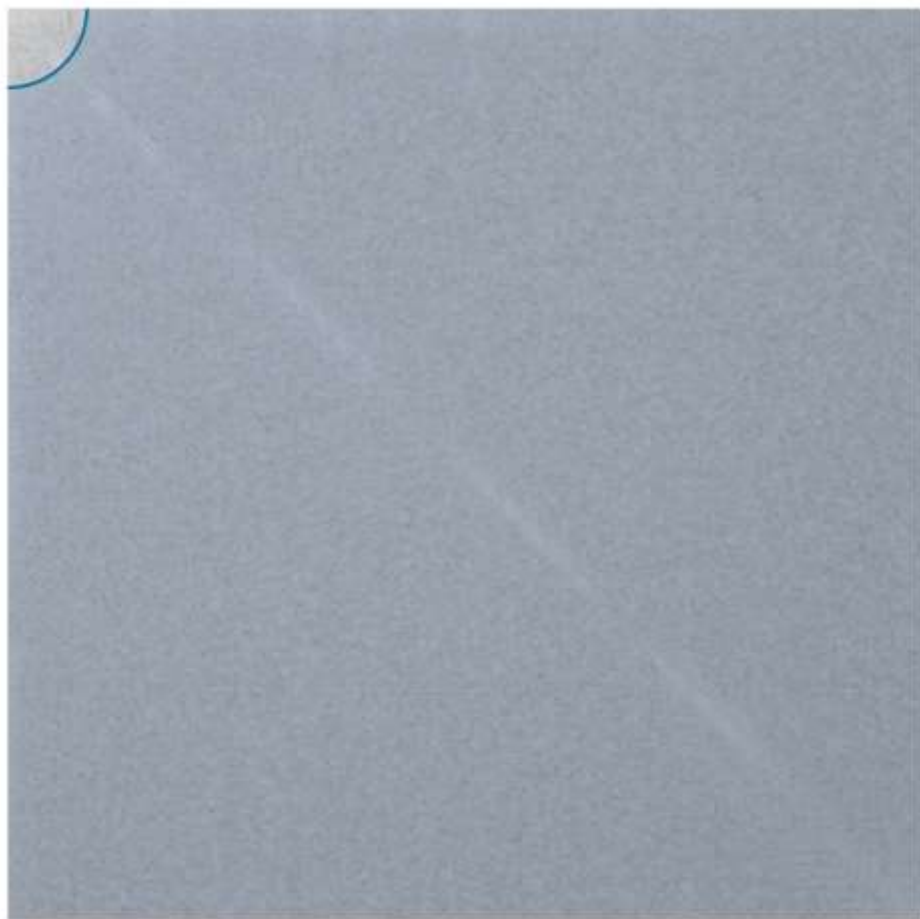
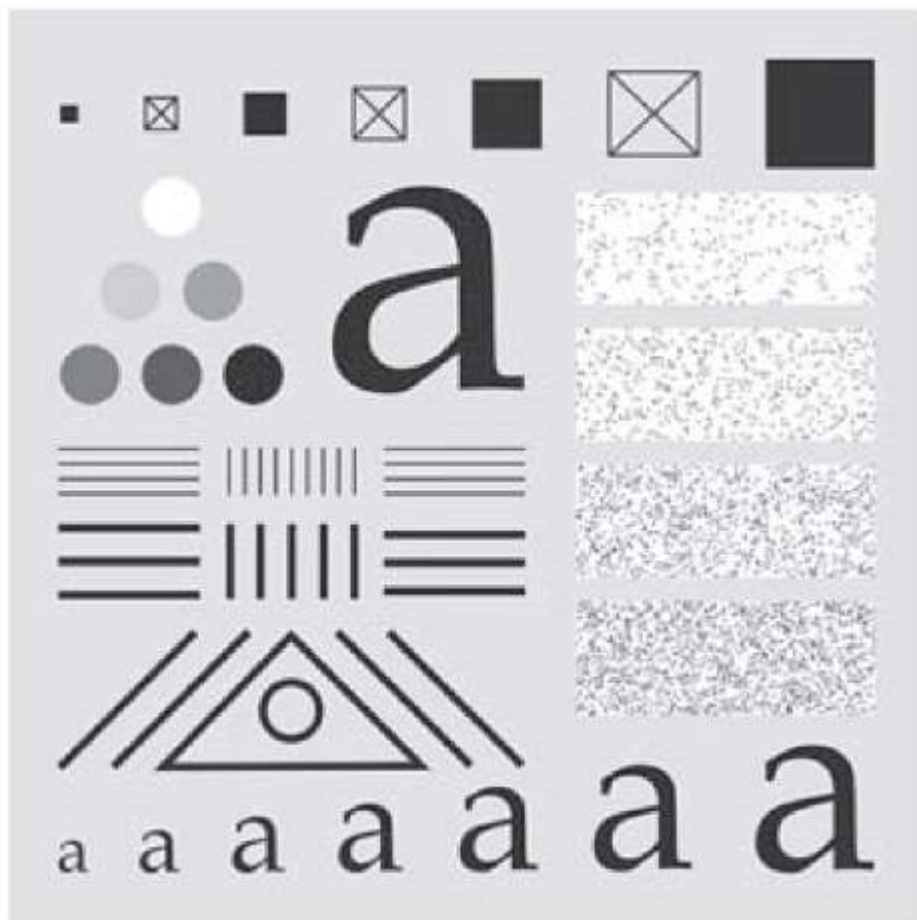
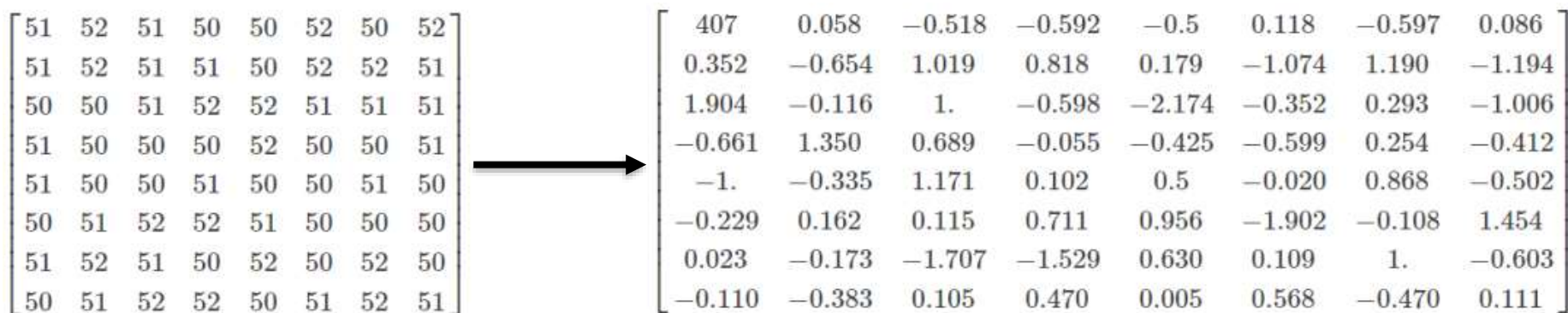


FIGURE 7.10 The transformation matrix and basis images of the discrete cosine transform for $N = 8$. (a) Graphical representation of orthogonal transformation matrix \mathbf{A}_C , (b) \mathbf{A}_C rounded to two decimal places, and (c) basis images. For 1-D transforms, matrix \mathbf{A}_C is used in conjunction with Eqs. (7-28) and (7-29); for 2-D transforms, it is used with Eqs. (7-35) and (7-36).

一个例子



具体例子见下图，直流分量和低频系数值较大，代表了图像的大部分能量，对它们做修改会影响图像的视觉效果。而高频系数值很小，去掉它们基本不引起察觉，所以最好的水印嵌入区域就是在中频部分。



因此，可以以一定的方式挑选一些中频系数，在这些中频系数中叠加秘密信息。

DCT水印嵌入步骤

①将原始图像转化为8*8大小的块，分别进行DCT变换。

0.8863	0.8863	0.8745	0.8745	0.8863	0.8863	0.8941	0.8902
0.8863	0.8863	0.8745	0.8745	0.8863	0.8863	0.8941	0.8902
0.8863	0.8863	0.8745	0.8745	0.8863	0.8863	0.8941	0.8902
0.8863	0.8863	0.8745	0.8745	0.8863	0.8863	0.8941	0.8902
0.8863	0.8863	0.8745	0.8745	0.8863	0.8863	0.8941	0.8902
0.8902	0.8902	0.8902	0.8706	0.8863	0.8941	0.8863	0.9020
0.8941	0.8941	0.8824	0.8784	0.8824	0.8980	0.8980	0.8980
0.8745	0.8745	0.8863	0.8667	0.8902	0.8824	0.8863	0.8941



7.0853	-0.0278	0.0320	0.0166	-0.0069	-0.0141	-0.0048	0.0098
-0.0059	0.0017	0	0.0074	0.0031	0.0049	-0.0132	-0.0034
-0.0028	-0.0031	-0.0029	-0.0036	0	0	0.0036	0.0040
0.0105	0.0041	0.0054	0.0008	-0.0019	-0.0018	0.0037	-0.0050
-0.0127	-0.0036	-0.0059	0	0.0029	0	-0.0039	0.0061
0.0094	0.0021	0.0044	0.0033	-0.0024	0.0029	-0.0017	-0.0066
-0.0042	0	-0.0022	-0.0050	0.0013	-0.0056	0.0068	0.0058
0	0	0	0.0038	0	0.0045	-0.0062	-0.0035

②在选的中频系数中叠加秘密信息 $x'(i,j) = x(i,j) + \alpha m_i$
 其中 $x(i,j)$ 是DCT系数, $x'(i,j)$ 是加入水印后的DCT系数,
 m_i 是第 i 个秘密信息比特, α 是可调参数控制嵌入强度.
 设在第一块中(4,4)位置嵌入秘密信息 [1], $\alpha = 1$ 。

7.0853	-0.0278	0.0320	0.0166	-0.0069	-0.0141	-0.0048	0.0098
-0.0059	0.0017	0	0.0074	0.0031	0.0049	-0.0132	-0.0034
-0.0028	-0.0031	-0.0029	-0.0036	0	0	0.0036	0.0040
0.0105	0.0041	0.0054	0.0008	-0.0019	-0.0018	0.0037	-0.0050
-0.0127	-0.0036	-0.0059	0	0.0029	0	-0.0039	0.0061
0.0094	0.0021	0.0044	0.0033	-0.0024	0.0029	-0.0017	-0.0066
-0.0042	0	-0.0022	-0.0050	0.0013	-0.0056	0.0068	0.0058
0	0	0	0.0038	0	0.0045	-0.0062	-0.0035



7.0853	-0.0278	0.0320	0.0166	-0.0069	-0.0141	-0.0048	0.0098
-0.0059	0.0017	0	0.0074	0.0031	0.0049	-0.0132	-0.0034
-0.0028	-0.0031	-0.0029	-0.0036	0	0	0.0036	0.0040
0.0105	0.0041	0.0054	1.0008	-0.0019	-0.0018	0.0037	-0.0050
-0.0127	-0.0036	-0.0059	0	0.0029	0	-0.0039	0.0061
0.0094	0.0021	0.0044	0.0033	-0.0024	0.0029	-0.0017	-0.0066
-0.0042	0	-0.0022	-0.0050	0.0013	-0.0056	0.0068	0.0058
0	0	0	0.0038	0	0.0045	-0.0062	-0.0035

③用将得到的含秘密信息的频率域数据逆变换为空间域像素值，从而获得含秘密信息的图像。

7.0853	-0.0278	0.0320	0.0166	-0.0069	-0.0141	-0.0048	0.0098
-0.0059	0.0017	0	0.0074	0.0031	0.0049	-0.0132	-0.0034
-0.0028	-0.0031	-0.0029	-0.0036	0	0	0.0036	0.0040
0.0105	0.0041	0.0054	1.0008	-0.0019	-0.0018	0.0037	-0.0050
-0.0127	-0.0036	-0.0059	0	0.0029	0	-0.0039	0.0061
0.0094	0.0021	0.0044	0.0033	-0.0024	0.0029	-0.0017	-0.0066
-0.0042	0	-0.0022	-0.0050	0.0013	-0.0056	0.0068	0.0058
0	0	0	0.0038	0	0.0045	-0.0062	-0.0035



1.0591	0.8457	0.6706	0.7590	1.0018	1.0901	0.9347	0.7174
0.8457	0.8958	0.9223	0.9016	0.8592	0.8384	0.8846	0.9307
0.6824	0.9341	1.1150	1.0107	0.7501	0.6458	0.8463	1.0941
0.7708	0.9134	1.0107	0.9517	0.8091	0.7501	0.8670	1.0057
1.0018	0.8592	0.7383	0.7973	0.9634	1.0225	0.9212	0.7747
1.0941	0.8424	0.6497	0.7344	1.0225	1.1346	0.9341	0.6981
0.9347	0.8846	0.8345	0.8513	0.9094	0.9459	0.9076	0.8575
0.7017	0.9151	1.0901	0.9822	0.7747	0.6785	0.8457	1.0670

DCT水印提取步骤

①将水印图像与原始图像转化为 $8*8$ 大小的块，分别进行DCT变换，注意到这种提取方法需要拥有完整的原始图像。

7.0853	-0.0278	0.0320	0.0166	-0.0069	-0.0141	-0.0048	0.0098
-0.0059	0.0017	0	0.0074	0.0031	0.0049	-0.0132	-0.0034
-0.0028	-0.0031	-0.0029	-0.0036	0	0	0.0036	0.0040
0.0105	0.0041	0.0054	0	-0.0019	-0.0018	0.0037	-0.0050
-0.0127	-0.0036	-0.0059	0	0.0029	0	-0.0039	0.0061
0.0094	0.0021	0.0044	0.0033	-0.0024	0.0029	-0.0017	-0.0066
-0.0042	0	-0.0022	-0.0050	0.0013	-0.0056	0.0068	0.0058
0	0	0	0.0038	0	0.0045	-0.0062	-0.0035

原始图像的DCT

6.9833	-0.0223	0.0172	0.0118	0.0069	-0.0101	-0.0994	0.0128
-0.0012	0.0016	-0.0012	0	0.0031	0.0032	-0.0101	0.0040
-0.0145	-0.0050	-0.0115	0.0023	0.0017	-0.0021	-0.0106	0.0015
0.0055	-0.0078	0.0125	0.8323	0.0022	-0.0178	0	0.0575
0.0029	-0.0028	-0.0042	0.0033	0.0108	0	0.0028	0.0074
0.0124	0	0.0028	-0.0103	-0.0043	-0.0022	0.0014	-0.0038
-0.0991	0.0023	-0.0185	-0.0096	0.0067	-0.0025	-0.0767	0.0061
0.0043	0.0076	0	0.0674	0.0014	0.0074	-0.0055	-0.0199

水印图像的DCT

②在约定的中频系数中提取信息 $m_i = \frac{x''(i,j) - x(x,j)}{\alpha}$

其中 $x''(i,j)$ 是接收端收到图像的对应中频系数， m_i 是提取出的隐藏信息。

6.9833	-0.0223	0.0172	0.0118	0.0069	-0.0101	-0.0994	0.0128
-0.0012	0.0016	-0.0012	0	0.0031	0.0032	-0.0101	0.0040
-0.0145	-0.0050	-0.0115	0.0023	0.0017	-0.0021	-0.0106	0.0015
0.0055	-0.0078	0.0125	0.8323	0.0022	-0.0178	0	0.0575
0.0029	-0.0028	-0.0042	0.0033	0.0108	0	0.0028	0.0074
0.0124	0	0.0028	-0.0103	-0.0043	-0.0022	0.0014	-0.0038
-0.0991	0.0023	-0.0185	-0.0096	0.0067	-0.0025	-0.0767	0.0061
0.0043	0.0076	0	0.0674	0.0014	0.0074	-0.0055	-0.0199

7.0853	-0.0278	0.0320	0.0166	-0.0069	-0.0141	-0.0048	0.0098
-0.0059	0.0017	0	0.0074	0.0031	0.0049	-0.0132	-0.0034
-0.0028	-0.0031	-0.0029	-0.0036	0	0	0.0036	0.0040
0.0105	0.0041	0.0054	0	-0.0019	-0.0018	0.0037	-0.0050
-0.0127	-0.0036	-0.0059	0	0.0029	0	-0.0039	0.0061
0.0094	0.0021	0.0044	0.0033	-0.0024	0.0029	-0.0017	-0.0066
-0.0042	0	-0.0022	-0.0050	0.0013	-0.0056	0.0068	0.0058
0	0	0	0.0038	0	0.0045	-0.0062	-0.0035

提取出秘密信息为 [1]。