



华北电力大学
NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY

7 图像类型与图像压缩



主要内容

- 图像类型分类
 - ✓ 位图图像
 - ✓ 矢量图
- 常见图像格式文件
 - ✓ bmp文件
 - ✓ jpg文件
 - ✓ png文件
 - ✓ gif文件
 - ✓ tiff文件
 - ✓ psd文件



主要内容

- 常见图像格式文件
 - ✓ ai文件
 - ✓ wmf文件
- 图像压缩
 - ✓ 为什么进行图像压缩
 - ✓ 为什么能进行图像压缩
 - ✓ 数据冗余
 - ✓ 保真度准则



主要内容

- 无损压缩
 - ✓ 霍夫曼编码
- 图像压缩标准
 - ✓ JPEG压缩流程
 - ✓ JPEG压缩比率

7.1 图像类型分类

- **位图**，又叫点阵图，它是由许多点排列组合成的图像。(图像)

点阵图



- **矢量图**，也叫平面对象绘图，是用数学向量方式来记录图像的内容。(图形)

矢量图



7.1 常见的图像类型

放大后的点阵图



放大后的矢量图

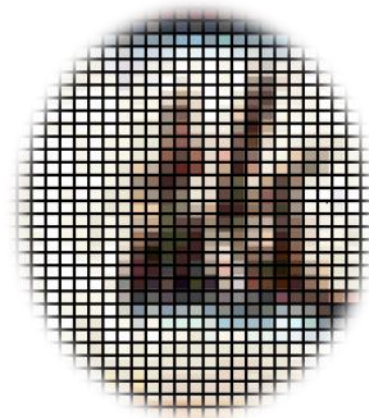




7.1.1 位图图像

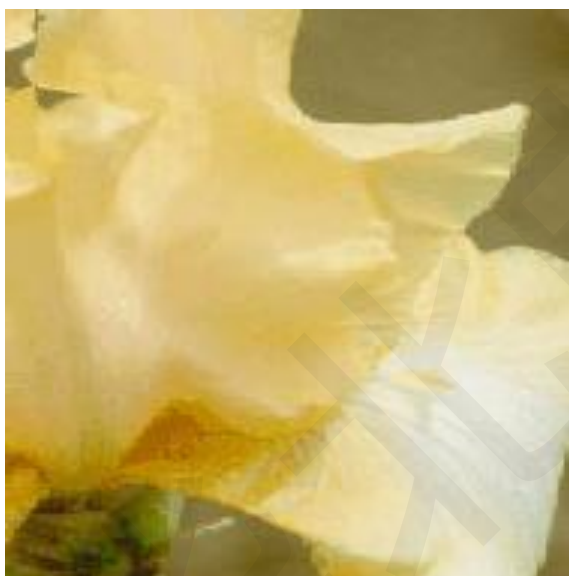
- 位图图像是由**像素**构成的，适用于逼真照片或要求精细细节的图像。
- 位图图像像素之间没有内在的联系，而且他们的分辨率是固定的，像素的数量是固定的，放大后每平方英寸面积上所含像素点就少了，将丢失其中的细节，并会出现锯齿状。

7.1.1 位图图像



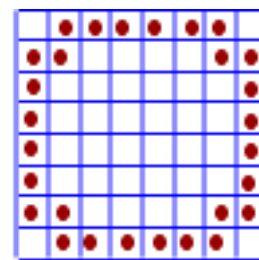
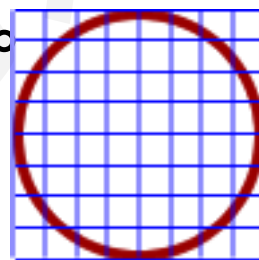


7.1.1 位图图像

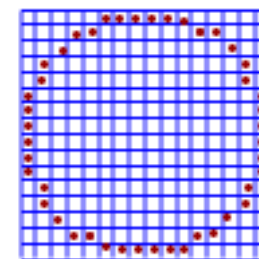
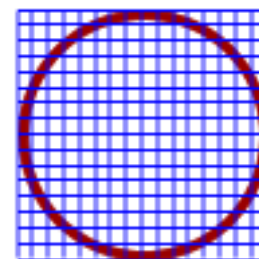


7.1.1 位图图像

- 像素是构成位图的最小单位，位图的大小与精致，取决于组成这幅图的像素数目的多少。
- 由于像素的分布是沿水平和垂直两个方向矩阵式排列的，任何一个位图总是有一定数目的水平像素和垂直像素。



分辨率为 8×8



分辨率为 16×16

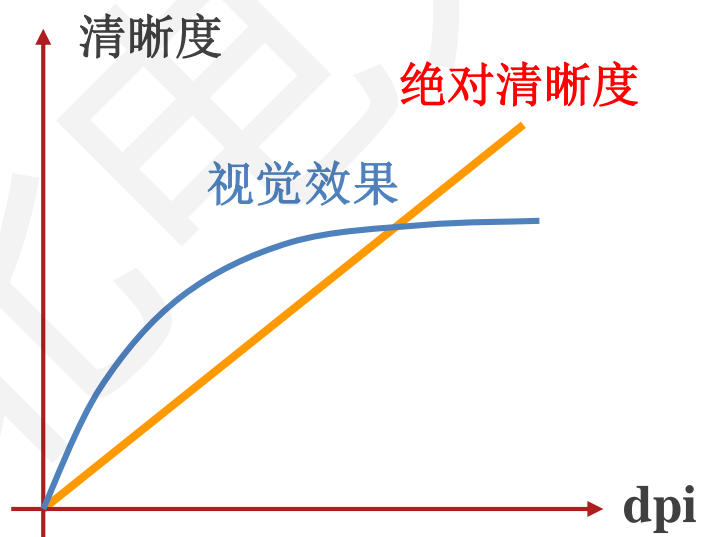


7.1.1 位图图像

- 图像分辨率

dpi (display pixels / inch)

每英寸显示的线数



dpi的数值越大，图像越清晰

7.1.1 位图图像

- 图像分辨率



300 dpi



96 dpi



21 dpi



7.1.1 位图图像



- 显示器: 96 dpi
- 显示用图片: 96 dpi
- 动画、视频: 96 dpi



平板扫描仪: 1200 dpi

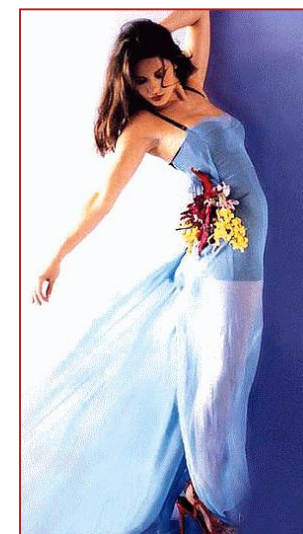


底片扫描仪
4800 dpi



激光打印机: 600~1200 dpi

喷墨打印机: 720~2880 dpi



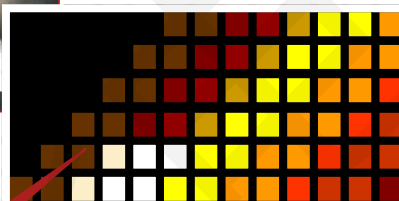
印刷图片

普通: 300dpi

高精度: 600 dpi

7.1.1 位图图像

- 位图图像的大小



图像像点

- 图像由基本显示单元“像点”构成

- 像点由若干个二进制位进行描述

- 二进制位代表图像颜色的数量

8bit ($2^8 = 256$ 色)

16bit ($2^{16} = 65536$ 色)

24bit ($2^{24} = 16\text{M}$ 色)

8位图像

16位图像

24位图像



7.1.1 位图图像

- 位图图像的大小

X方向的像素数×Y方向的像素数

文件的字节数=图像分辨率×图像量化位数÷8

二进制颜色位数

例如：一幅分辨率为 640×480 的量化位数为8的图像，文件的大小为： $(640 \times 480 \times 8) \div 8 = 307200(B)$



7.1.2 矢量图

- 矢量图存储的是一幅图的结构数据，各个关键点的相对位置和比例等数据，放大后重新构图。
- 矢量图中的图形元素被称为对象，每个对象都具有颜色、形状、大小等属性。
- 矢量图是根据几何特性来绘制的，只能靠软件生成，矢量可能是一个点，也可能是一条线，文件占用的电脑空间极小，图像清晰度与分辨率无关，放大或者缩小之后都不会失真。



7.1.3 位图与矢量图对比

比较内容	位图图像	矢量图形
特征	能较好表现色彩浓 度与层次	可展示清晰线条或 文字
用途	照片或复杂图像	文字、商标等相对 规则的图形
缩放	易失真	不易失真
3D影像	不可以	可以
文件大小	较大	较小



7.2 常见图像格式文件

- 位图
 - ✓ bmp, jpg, gif, psd, png, tiff等
- 矢量图
 - ✓ ai, wmf等



7.2.1 bmp图像文件

- BMP (Window标准位图) 是最普遍的点阵图格式之一，也是Window系统下的标准格式，是将Window下显示的点阵图以无损形式保存的文件。
 - ✓ 优点：无损压缩；图像画质优秀。
 - ✓ 缺点：占用存储空间大。



7.2.1 bmp图像文件

- BMP (Window标准位图) 是最普遍的点阵图格式之一，也是Window系统下的标准格式，是将Window下显示的点阵图以无损形式保存的文件。
 - ✓ 优点：无损压缩；图像画质优秀。
 - ✓ 缺点：占用存储空间大。



7.2.2 jpg图像文件

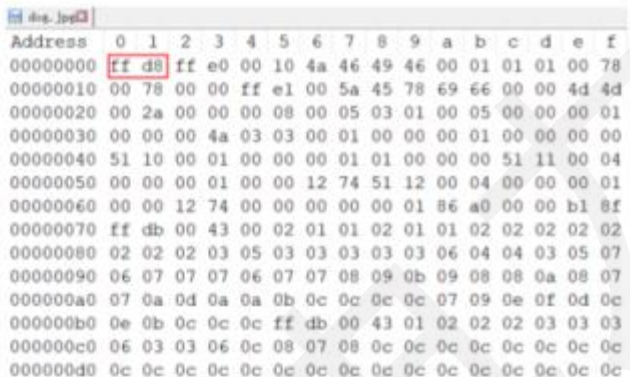
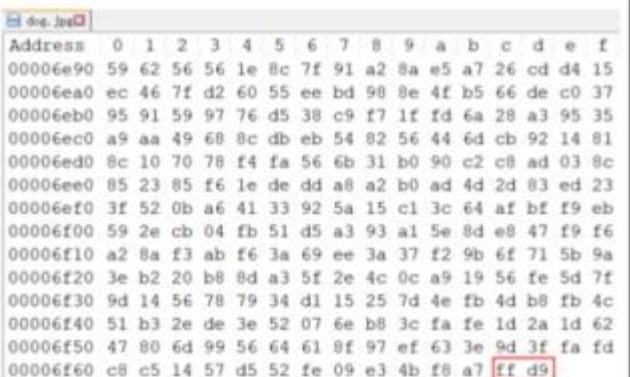
- 也称为JPEG或者JPG格式, Joint Photographics Experts Group(联合图像专家组), 是最常用的图像文件格式, 是一种有损压缩格式, 容易造成图像数据的损伤。但是JPEG压缩技术十分先进, 它用有损压缩方式去除冗余的图像数据, 在获得极高的压缩率的同时能展现十分丰富生动的图像。

- ✓ 优点: 能将图片压缩至很小的存储空间; 对色彩信息的保留较好, 适用于互联网传播。

- ✓ 缺点: 有损压缩会降低图片数据质量。



7.2.2 jpg图像文件

图像格式	文件头部	文件尾部
JPG	 <pre>Address 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 a b c d e f 00000000 ff d8 ff e0 00 10 4a 46 49 46 00 01 01 01 00 78 00000010 00 78 00 00 ff e1 00 5a 45 78 69 66 00 00 4d 4d 00000020 00 2a 00 00 00 08 00 05 03 01 00 05 00 00 00 01 00000030 00 00 00 4a 03 03 00 01 00 00 00 01 00 00 00 00 00000040 51 10 00 01 00 00 00 01 01 00 00 00 51 11 00 04 00000050 00 00 00 01 00 00 12 74 51 12 00 04 00 00 00 01 00000060 00 00 12 74 00 00 00 00 01 86 a0 00 00 b1 8f 00000070 ff db 00 43 00 02 01 01 02 01 01 02 02 02 02 02 00000080 02 02 02 03 05 03 03 03 03 06 04 04 03 05 07 00000090 06 07 07 07 06 07 07 08 09 0b 09 08 08 0a 08 07 000000a0 07 0a 0d 0a 0a 0b 0c 0c 0c 0c 07 09 0e 0f 0d 0c 000000b0 0e 0b 0c 0c 0c ff db 00 43 01 02 02 02 03 03 03 000000c0 06 03 03 06 0c 08 07 08 0c 0c 0c 0c 0c 0c 0c 000000d0 0c 0c 0c 0c 0c 0c 0c 0c 0c 0c 0c 0c 0c 0c 0c</pre>	 <pre>Address 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 a b c d e f 00006e90 59 62 56 56 1e 8c 7f 91 a2 8a e5 a7 26 cd d4 15 00006ea0 ec 46 7f d2 60 55 ee bd 98 8e 4f b5 66 de c0 37 00006eb0 95 91 59 97 76 d5 38 c9 f7 1f fd 6a 28 a3 95 35 00006ec0 a9 aa 49 68 8c db eb 54 82 56 44 6d cb 92 14 81 00006ed0 8c 10 70 78 f4 fa 56 6b 31 b0 90 c2 c8 ad 03 8c 00006ee0 85 23 85 f6 1e de dd a8 a2 b0 ad 4d 2d 83 ed 23 00006ef0 3f 52 0b a6 41 33 92 5a 15 c1 3c 64 af bf f9 eb 00006f00 59 2e cb 04 fb 51 d5 a3 93 a1 5e 8d e8 47 f9 f6 00006f10 a2 8a f3 ab f6 3a 69 ee 3a 37 f2 9b 6f 71 5b 9a 00006f20 3e b2 20 b8 8d a3 5f 2e 4c 0c a9 19 56 fe 5d 7f 00006f30 9d 14 56 78 79 34 d1 15 25 7d 4e fb 4d b8 fb 4c 00006f40 51 b3 2e de 3e 52 07 6e b8 3c fa fe 1d 2a 1d 62 00006f50 47 80 6d 99 56 64 61 8f 97 ef 63 3e 9d 3f fa fd 00006f60 c8 c5 14 57 d5 52 fe 09 e3 4b f8 a7 ff d9</pre>

JPEG格式以0xFF D8开头，以0xFF D9结束。



7.2.3 png图像文件

- PNG, Portable Network Graphics(可移植性网络图像), 是网上接受的最新图像文件格式。PNG能够提供长度比GIF小30%的无损压缩图像文件。它同时提供24位和48位真彩色图像支持以及其他诸多技术性支持。
 - ✓ 优点: 支持高级别无损压缩; 支持透明背景。
 - ✓ 缺点: 对旧浏览器和软件兼容性较差。



7.2.3 png图像文件

PNG	00 the.png	Address	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f
		00000000	89	50	4e	47	0d	0a	1a	0a	00	00	00	0d	49	48	44	52
		00000010	00	00	01	40	00	00	01	08	08	06	00	00	00	2e	9b	2d
		00000020	ab	00	00	00	01	73	52	47	42	00	ae	ce	1c	e9	00	00
		00000030	00	04	67	41	4d	41	00	00	b1	8f	0b	fc	61	05	00	00
		00000040	00	09	70	48	59	73	00	00	12	74	00	00	12	74	01	de
		00000050	66	1f	78	00	00	ff	a5	49	44	41	54	78	5e	bc	fd	79
		00000060	b8	77	c9	75	d7	87	d6	99	e7	e1	9d	87	9e	e7	49	6a
		00000070	a9	07	b5	c6	d6	3c	59	b2	25	4f	18	6c	83	6c	61	1b
		00000080	30	8e	9f	24	b6	b9	24	0c	41	17	42	72	93	4b	c8	05
		00000090	ee	05	02	09	89	81	60	c0	0e	60	83	9f	38	0e	b6	c1
		000000a0	d8	c6	b2	2d	c9	96	35	58	53	b7	7a	7a	fb	9d	df	f7
		000000b0	cc	f3	39	f7	f3	f9	ae	bd	cf	39	6f	0f	e6	3e	f9	e3
		000000c0	d6	ef	ec	b3	f7	ae	5d	b5	6a	d5	aa	b5	56	ad	55	55
		000000d0	bb	f6	c0	f7	7f	fc	bf	d8	6b	af	12	f6	f6	f6	da	e0
		000000e0	d0	60	5d	ef	ec	b6	9d	81	d6	06	b8	f7	3c	b8	b3	d7
		000000f0	76	f8	91	24	e9	06	b8	6f	03	bb	dc	70	0c	ee	b4	dd

	00 the.png	Address	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f
		00027780	bb	f7	94	31	49	bb	ea	18	14	61	06	6f	a2	7a	d8	67
		00027790	aa	1f	0a	a2	bf	e3	fc	03	e1	81	c4	56	fe	3d	aa	53
		000277a0	59	f5	ea	e6	e0	7e	76	7a	5a	fc	21	8d	83	ef	7a	e2
		000277b0	ef	f2	11	2c	ee	91	d4	0a	2c	ee	bb	20	8d	8f	49	eb
		000277c0	76	52	a3	e1	f8	f8	38	c6	ff	8a	6b	67	59	ad	c4	ae
		000277d0	db	73	68	c5	b4	e5	3d	61	64	81	6b	43	96	ae	2f	3c
		000277e0	09	3e	f2	96	73	7b	1f	79	77	9c	02	4d	9b	3a	5a	8f
		000277f0	31	16	76	1d	a7	e9	46	8b	a6	86	ce	09	02	bb	8c	36
		00027800	3e	69	1c	09	31	32	34	4a	8e	45	ab	93	e1	7b	83	9f
		00027810	b1	c6	40	37	ec	d3	52	fa	20	84	6a	b8	2a	d5	e9	c9
		00027820	29	b2	ad	b5	7f	86	32	95	69	bf	03	e7	92	23	6d	7a
		00027830	8e	1b	74	d7	36	dd	09	d4	6d	a0	5c	87	88	0c	82	44
		00027840	fa	75	e2	3f	47	ae	a2	5b	09	26	e3	5e	9c	0a	74	5c
		00027850	dc	b3	60	9b	46	48	af	d6	6b	9f	49	83	e7	93	c9	64
		00027860	f8	37	10	dc	ef	30	f6	4c	cd	99	90	00	00	00	49	45
		00027870	4e	44	ae	42	60	82										

PNG格式以0x89 50 4E 47 0D 0A 1A 0A开头，其中50 4E 47 是英文字符串“PNG”的ASCII码。

7.2.3 png图像文件



JPG: 340KB



PNG: 1.84MB



7.2.3 png图像文件



BMP: 500KB



JPG: 184KB



7.2.4 gif图像文件






- Graphical interchange format(图像互换格式), 是一种压缩图片格式, 分为动态GIF和静态GIF。动态GIF对于小伙伴们来说并不陌生, 这就是日常所用表情包的格式, GIF最多支持256种色彩的图像。
 - ✓ 优点: 支持动态和静态展示, 图片存储空间小, 加载速度快; 支持透明背景。
 - ✓ 缺点: 有损压缩会降低图片数据质量。

7.2.4 gif图像文件





7.2.4 gif图像文件

图例						
尺寸	320×240 像素 颜色 (黑白)	320×240 像素 颜色 (彩色)	320×240 像素 颜色 (彩色)	320×240 像素 颜色 (彩色)	640×240 像素 颜色 (彩色)	压缩该图像文件 (.rar)
存储容量 (BMP)	9.43KB	225KB	225KB	225KB	450KB	6.24KB
存储容量 (JPEG)	1.78KB	1.78KB	3.45KB	11.1KB	18.4KB	16.5KB
存储容量 (GIF)	1.23KB	1.23KB	3KB	9.42KB	16KB	15.9KB



7.2.5 tiff图像文件

- Tagged image file format (标签图像文件格式位图式), 它支持不同颜色模式、路径、透明度和通道, 是打印文档最常用的格式。PS支持在TIFF文件中保存图层和其他信息。
 - ✓ 优点: 保存丰富的图像层次和细节; 画面质量无损。
 - ✓ 缺点: 占用存储空间大。



7.2.6 psd图像文件

- 是Adobe公司的图形设计软件Photoshop的专用格式，可以存储成RGB或CMYK模式，还能够自定义颜色数并加以存储，还可以保存Photoshop的图层、通道、路径等信息，是唯一能够支持全部图像色彩模式的格式。
 - ✓ 优点：存储源文件信息方便修改；保留透明底、图层、路径、通道等PS处理信息。
 - ✓ 缺点：需要专业图形处理软件打开；占用空间大。



7.2.7 ai图像文件

- Adobe illustrator，是一种矢量图形文件格式，是一种分层文件，用户可以对图形内所存在的层进行操作，所不同的是AI格式文件是基于矢量输出，可在任何尺寸大小下按最高分辨率输出，而PSD文件是基于位图输出。
 - ✓ 优点：占用的硬盘空间小,打开速度很快,格式转换起来也非常方便。
 - ✓ 缺点：需要专业图形处理软件打开。



7.2.8 wmf图像文件

- Windows Metafile(图元文件), 是一种矢量图形文件格式, 扩展名包括.wmf和.emf两种, 它们是属于矢量类图形, 是由简单的线条和封闭线条(图形)组成的矢量图。
 - ✓ 优点: 文件非常小, 可以任意缩放而不影响图像质量。
 - ✓ 缺点: 显示图元文件的速度要比显示其它格式的图象文件慢。



7.3 图像压缩

- 图像压缩是指以较少的比特有损或无损地表示原来的像素矩阵的技术，也称图像编码。
- 图像数据之所以能被压缩，就是因为数据中存在着冗余，图像数据的冗余主要表现为
 - ✓ 图像中相邻像素间的相关性引起的空间冗余；
 - ✓ 图像序列中不同帧之间存在相关性引起的时间冗余；
 - ✓ 不同彩色平面或频谱带的相关性引起的频谱冗余。



7.3.1 为什么进行图像压缩

- 图像的数据量通常很大，对存储、处理和传输带来许多问题。

- ✓ 彩色视频信息

对于电视画面的分辨率640*480的彩色图像，每秒30帧，则一秒钟的数据量为：

$$640*480*24*30=211\text{Mbit}=26.4\text{MByte}$$

所以播放时，需要211Mbps的通信回路。

参考数据：宽带网为512K,电话线为56K。

存储时，1张CD可存640M，则仅可以存放24秒的数据。4G的DVD光盘也只能存放2.5分钟的数据。



7.3.1 为什么进行图像压缩

- 图像的数据量通常很大，对存储、处理和传输带来许多问题。

✓ 传真数据

如果只传送2值图像，以200dpi的分辨率传输，一张A4稿纸的内容的数据量为：

$$1654 * 2337 * 1 = 3888768 \text{ bit}$$

按目前14.4K的电话线传输速率，需要传送的时间是：270秒（4.5分）

发10页传真，将消耗我们一个学时的时间。



7.3.2 为什么能进行图像压缩

- 图像中存在大量冗余信息。
 - ✓ 消除冗余数据，从数学角度看，将原始图像转化为从统计角度看尽可能不相关的数据集。



压缩前：

“这是一幅 2×2 的图像，图像的第一个像素是红的，第二个像素是红的，第三个像素是红的，第四个像素是红的”。

“这是一幅 2×2 的图像，整幅图都是红色的”。

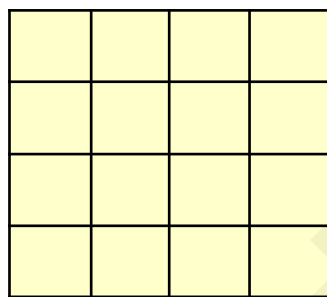


7.3.2 为什么能进行图像压缩

- 压缩分为两类：
 - ✓ 无损压缩：在压缩和解压缩过程中没有信息损失。
 - ✓ 有损压缩：能取得较高的压缩率，但压缩后不能通过解压缩恢复原状。

7.3.2 为什么能进行图像压缩

- 无损压缩



RGB	RGB	RGB	RGB
RGB	RGB	RGB	RGB
RGB	RGB	RGB	RGB
RGB	RGB	RGB	RGB

数据量: $16 \times 3 \times 8 = 288\text{bits}$

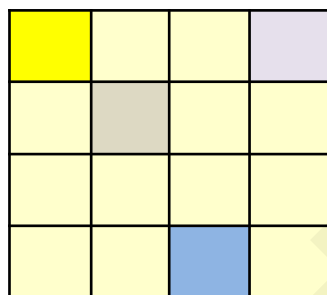


16	RGB
----	-----

压缩为: $(1+3) \times 8 = 32\text{bits}$

7.3.2 为什么能进行图像压缩

- 有损压缩



RGB2	RGB1	RGB1	RGB3
RGB1	RGB4	RGB1	RGB1
RGB1	RGB1	RGB1	RGB1
RGB1	RGB1	RGB5	RGB1

数据量: $16 \times 3 \times 8 = 288\text{bits}$




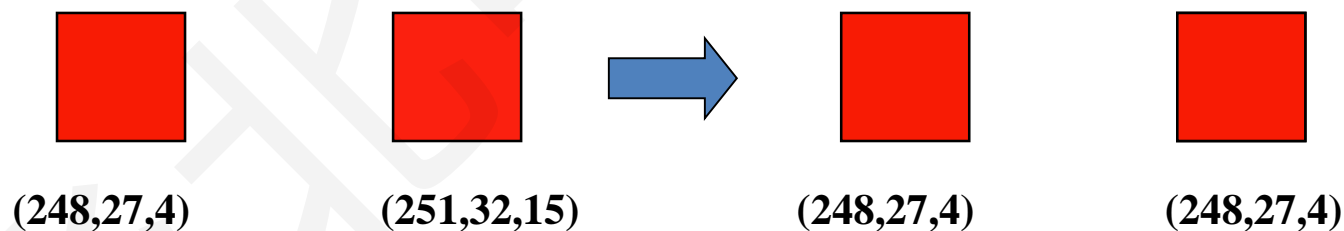
16	RGB1
----	------

压缩为: $(1+3) \times 8 = 32\text{bits}$

7.3.2 为什么能进行图像压缩

- 有损压缩的依据


$$\rightarrow 2^8 * 2^8 * 2^8 = 2^{24}$$
$$2^{24} = 16,777,216$$





7.3.2 为什么能进行图像压缩

- 由于一幅图像存在数据冗余和主观视觉冗余，压缩方式就是从这两方面着手来开展的。
 - ✓ 因为有数据冗余，当将图像信息的描述方式改变之后，可以压缩掉这些冗余。
 - ✓ 因为有主观视觉冗余，当忽略一些视觉不太明显的微小差异，可以进行所谓的“有损”压缩。



7.3.3 数据冗余

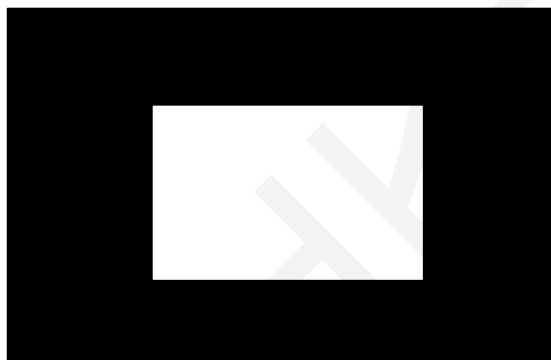
- 三种基本的数据冗余
 - ✓ 编码冗余
 - ✓ 像素间冗余
 - ✓ 心理视觉冗余
- 如果能减少或消除上述三种冗余的1种或多种冗余，就能取得数据压缩的效果。



7.3.3 数据冗余

- 编码冗余

- ✓ 如果一个图像的灰度级编码，使用了多于实际需要的编码符号，就称该图像包含了编码冗余。



如果用8位表示该图像的像素，我们就说该图像存在编码冗余，因为该图像的像素只有两个灰度，用一位即可表示。



7.3.3 数据冗余

- 像素间冗余

- ✓ 反映图像中像素之间的相互关系。
- ✓ 因为任何给定像素的值可以根据与这个像素相邻的像素进行预测，所以单个像素携带的信息相对较少。
- ✓ 对于一幅图像，很多单个像素对视觉的贡献是冗余的。它的值可以通过与它相邻的像素值为基础进行预测。

例：原图像数据：234 223 231 238 235

压缩后数据：234 -11 8 7 -3



7.3.3 数据冗余

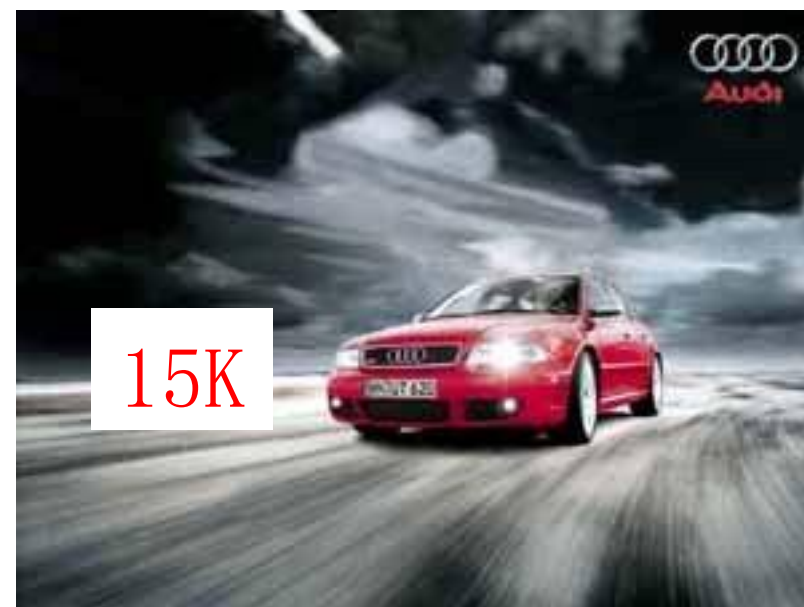
- 心理视觉冗余

- ✓ 人眼感觉到的图像区域亮度不仅取决于该区域的反射光，例如根据马赫带效应，在灰度值为常数的区域也能感觉到灰度值的变化。
- ✓ 这是由于眼睛对所有视觉信息感受的灵敏度不同。在正常视觉处理过程中各种信息的相对重要程度不同。
- ✓ 有些信息在通常的视觉过程中与另外一些信息相比并不那么重要，这些信息被认为是心理视觉冗余的，去除这些信息并不会明显降低图像质量。

7.3.3 数据冗余

- 心理视觉冗余

- ✓ 由于消除心理视觉冗余数据会导致一定量信息的丢失，所以这一过程通常称为量化。
- ✓ 心理视觉冗余压缩是不可恢复的，量化的结果导致了数据有损压缩。





7.3.4 保真度准则

- 需要评价信息损失的测度以描述解码图像相对于原始图像的偏离程度，这些测度称为保真度准则。
- 常用保真度准则分为两大类：
 - ✓ 客观保真度准则
 - ✓ 主观保真度准则



7.3.4 保真度准则

- 客观保真度准则
- 当所损失的信息量可以用编码输入图像与编码输出图像的函数表示时，它就是基于客观保真度准则的
- 常用的两种客观保真度准则
 - ✓ 均方根误差
 - ✓ 信噪比



7.3.4 保真度准则

- 均方根误差

$$MSE = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} [g(x, y) - f(x, y)]^2}$$

$f(x, y)$ 是输入图像， $g(x, y)$ 是先压缩再解压缩后的图像。



7.3.4 保真度准则

- 信噪比

$$MSE = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} [g(x, y) - f(x, y)]^2}$$

$$SNR = MN \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} [g(i, j)]^2}{MSE}$$

$f(x, y)$ 是输入图像， $g(x, y)$ 是先压缩再解压缩后的图像。



7.4 无损压缩

- 无损压缩的必要性
 - ✓ 在医疗或商业文件的归档，有损压缩因为法律原因而被禁止。
 - ✓ 卫星成像的收集，考虑数据使用和所花费用，不希望有任何数据损失。
 - ✓ X光拍片，信息的丢失会导致诊断的正确性。
- 无损压缩技术
 - ✓ 减少像素间冗余
 - ✓ 减少编码冗余



7.4.1 霍夫曼编码

- 霍夫曼编码是一种利用信息符号概率分布特性的变字长的编码方法。

✓ 对于出现概率大的信息符号编以短字长的码，
对于出现概率小的信息符号编以长字长的码。

aaaa bbb cc d eeeee fffffff

4 3 2 1 5 7

共：22*8=176 bits

编码： f=0 e=10 a=110 b=1111 c=11100 d=11101

11011011011011111111111111100111001110110101010
10000000

共：7*1+5*2+4*3+3*4+2*5+1*5=56 bits



7.4.1 霍夫曼编码

- 霍夫曼编码过程

- (1) 分配码字长度时，首先将出现概率最小的两个符号的概率相加，合成一个概率；
- (2) 把这个合成概率看成是一个新组合符号的概率；
- (3) 重复上述做法，直到最后只剩下两个符号的概率为止。
- (4) 完成以上概率相加顺序排列后，再反过来逐步向前进行编码。

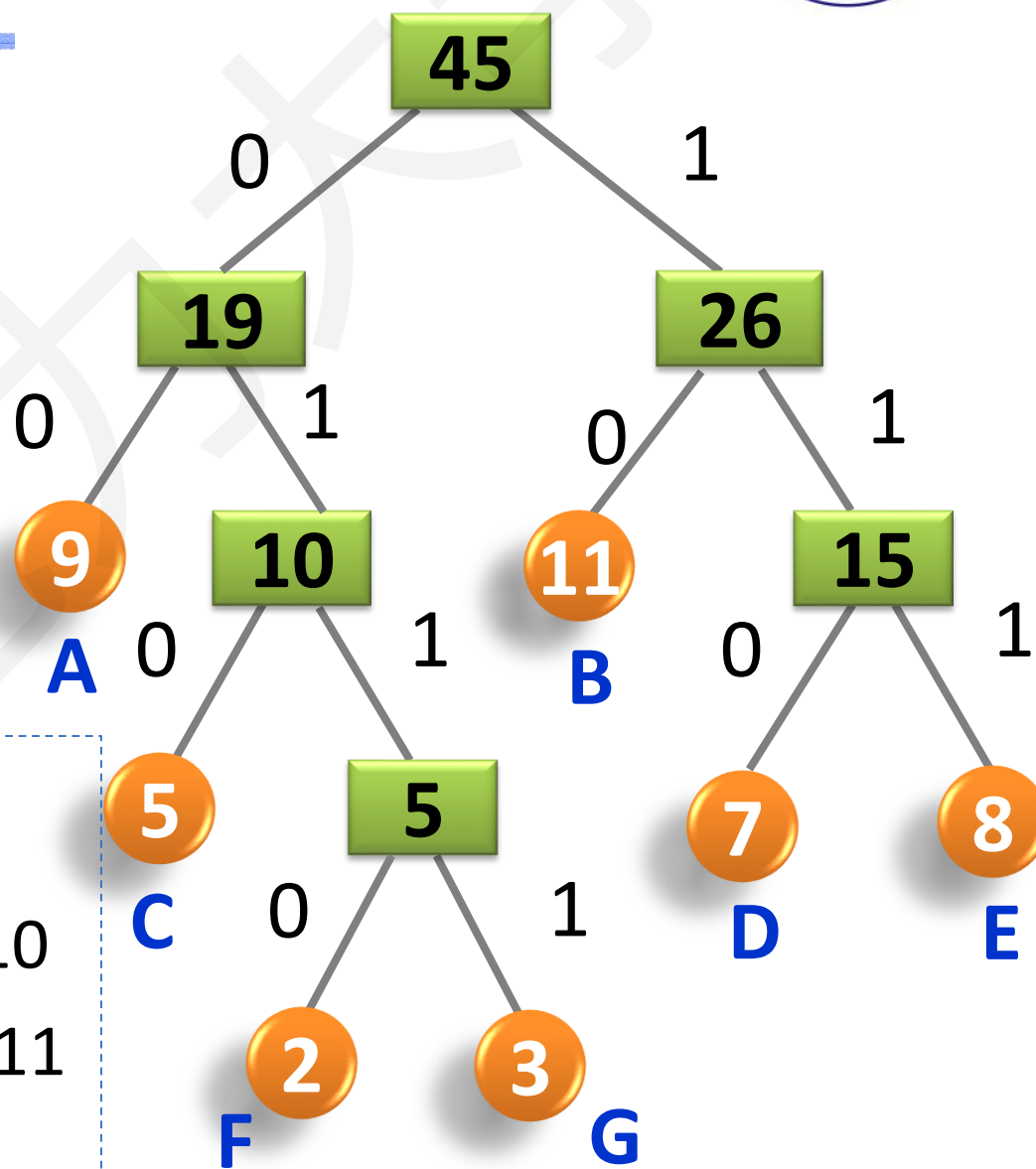
7.4.1 霍夫曼编码



一组字符 {A, B, C, D, E, F, G} 的出现频率分别是 {9, 11, 5, 7, 8, 2, 3}, 设计最经济的编码方案。

编码方案:

A: 00	C: 010	F: 0110
B: 10	D: 110	G: 0111
	E: 111	





7.4.1 霍夫曼编码

- 霍夫曼编码的特点

不等长编码的设计

任一字符的编码都不能是另一个字符编码的前缀，
这种编码称为前缀编码。



7.5 有损压缩

- 牺牲图像复原的准确度以换取压缩能力的增加。
- 如果产生的失真可以容忍，则压缩能力的增加是有效的；
- 压缩率较大,有损压缩编码技术可达100: 1压缩率，并且做到10: 1~50: 1之间，图像无本质区别（单色图像）。
- 有损压缩技术
 - ✓ 有损预测编码
 - ✓ 变换编码



7.5.1 有损预测编码

- 预测编码是根据图像数学模型利用**以往样本值**对于新样本值进行预测，然后将样本的实际值与其预测值相减得到一个**误差值**，对这一误差值进行编码。
- 如果模型足够好且样本序列在时间上相关性较强，那么误差信号的**幅度**将远远小于原始信号，从而可以用较少的电平类对其差值量化得到较大的数据压缩效果。

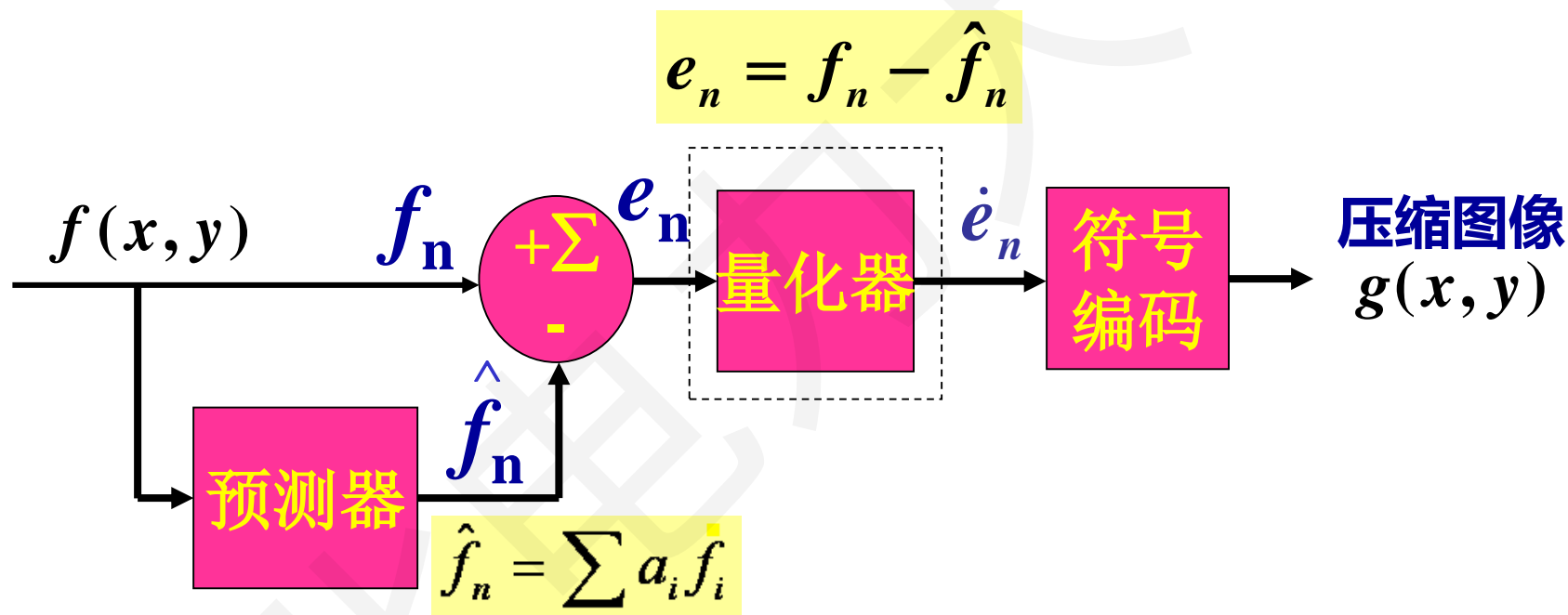


7.5.1 有损预测编码

- 如果能精确地预测数据源输出，那就不存在关于数据源的不确定性，因而也就不存在要传输的信息。
- 然而没有一个实际的系统能找到其完整的数学模型，能找到的最好预测器是以某种**最小化的误差**对下一个采样进行预测的预测器。



7.5.1 有损预测编码



量化器将预测误差映射成有限范围内的输出 \dot{e}_n ，确定了与有损预测编码相联系的压缩量和失真量。



7.5.2 变换编码

- 变换编码的基本原理是将原来在空域描述的图像信号，变换到另外一些**正交空间**中去，用变换系数来表示原始图像，并对变换系数进行编码。
- 图像变换会使图像信号能量在空间**重新分布**，其中低频成分占据能量的绝大部分，而高频成分所占比重很小，根据统计编码的原理，能量分布集中，熵值最小，可实现平均码长最短。



7.5.2 变换编码

- 一般来说在变换域里描述要比在空域简单，因为图像的相关性明显下降。
- 尽管变换本身并不带来数据压缩，但由于变换图像的能量大部分只集中于少数几个变换系数上，采用量化和熵编码则可以有效地压缩图像的编码比特率。
- 常用的变换编码所使用的正交变换有离散傅立叶变换（**DFT**）、离散余弦变换（**DCT**）和沃尔什-哈达马变换（**WHT**）。



7.5.2 变换编码

- 变换后图象能量更加集中，在量化和编码时，结合人类视觉心理因素等，采用“区域取样”或“阈值取样”等方法，保留变换系数中幅值较大的元素，进行量化编码，而大多数幅值小或某些特定区域的变换系数将全部当作零处理。
- 总的均方近似误差就是所有截除的变换系数的方差之和。一个能把最多的信息集中在最少数上的变换所产生的重建误差最小。



7.5.2 变换编码

- DFT变换核函数

$$\left. \begin{aligned} g(x, y, u, v) &= \frac{1}{N^2} e^{-j2\pi(ux+vy)/N} & g_1(x, u) &= e^{-j\frac{2\pi}{N}ux} \\ h(x, y, u, v) &= e^{j2\pi(ux+vy)/N} & h_1(x, u) &= e^{j\frac{2\pi}{N}ux} \end{aligned} \right\} \text{正、余弦函数}$$



7.5.2 变换编码

- DCT变换核函数

$$g(x, y, u, v) = h(x, y, u, v) = \alpha(u)\alpha(v) \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right]$$

$$\alpha(u) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}} & u = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} & u = 1, 2, \dots, N-1 \end{cases}$$



7.5.2 变换编码

- WHT变换核函数

$$g(x, y, u, v) = h(x, y, u, v) = \frac{1}{N} (-1)^{\sum_{i=1}^m [b_i(x)p_i(u) + b_i(y)p_i(v)]}$$

一维时：方波
二维时：以棋盘形式
交替排列的+1、-1

$b_k(z)$ ——取 z 的二进制形式的第 k 位（从右向左）， $[]$ ：二进制算术运算， $N = 2^m$

$$p_i(u) = \begin{cases} b_{m-1}(u) & i = 0 \\ b_{m-i}(u) + b_{m-i-1}(u) & i = 1, 2, \dots, m-1 \end{cases}$$



7.5.2 变换编码

- 变换过程

- (1) 512×512 大小的单色图像
- (2) 先将原图分割为 8×8 大小的子图像，然后用 DFT、WHT、和 DCT 的一种，表示每一个子图像
- (3) 将得到所有系数的 50% 去掉，即丢掉 32 个系数
- (4) 对截取的系数阵列进行逆变换，保留 32 个系数
- (5) 丢掉的 32 个系数，对复原图像质量的视觉影响很小
- (6) 产生的均方误差

$$\text{rms}_{\text{DFT}} > \text{rms}_{\text{WHT}} > \text{rms}_{\text{DCT}}$$



7.5.2 变换编码

DFT还原图像



$$\text{rms}_{\text{DFT}} = 1.28$$

WHT还原图像



$$\text{rms}_{\text{WHT}} = 0.86$$

DCT还原图像



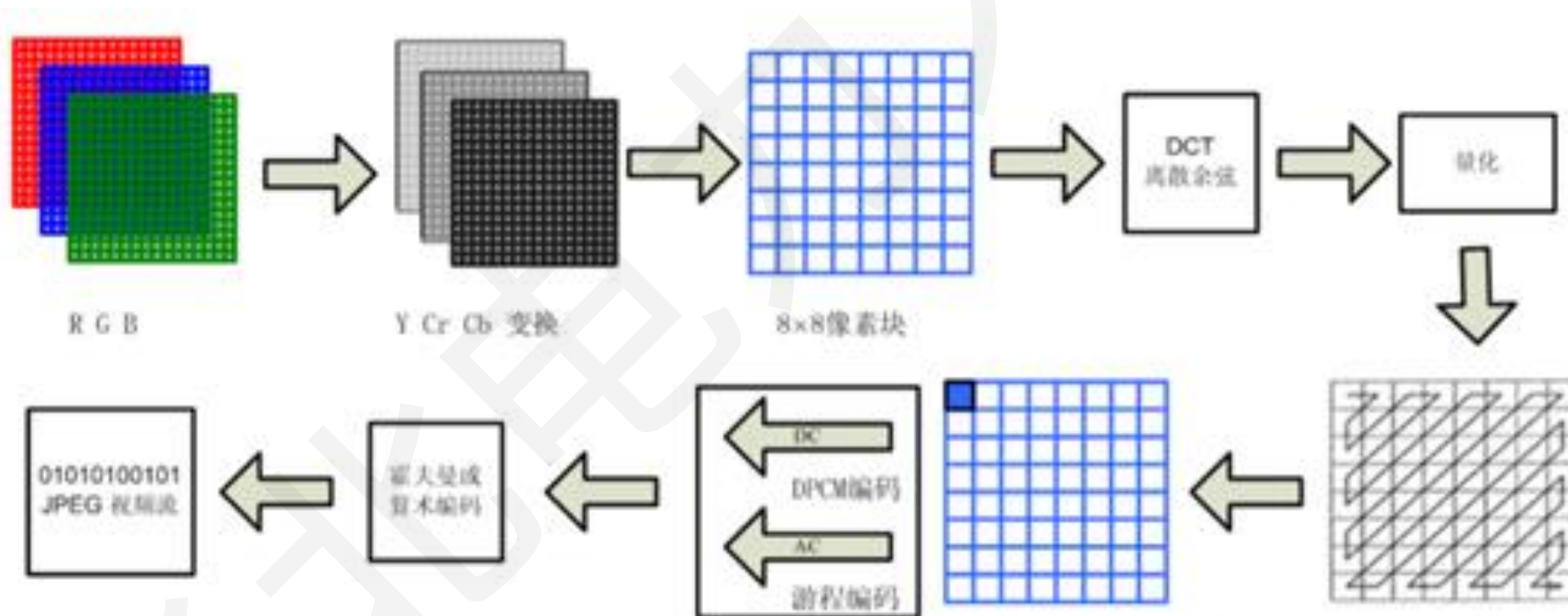
$$\text{rms}_{\text{DCT}} = 0.68$$



7.6 图像压缩标准

- 彩色图像编码标准化的工作是从ISO TC97/SC2 委员会开始
 - ✓ 有损预测编码使用64Kbps的通信线路，传输720×576分辨率压缩后的图像(CCIR601数字电视标准的图像)。
- 该委员会与CCITT/SG VIII合并，组成了JPEG(Joint Photographic Coding Experts Group)
 - ✓ 标准化的要求条件转到使更多的应用环境都能使用标准化编码的目标上，应用对象扩大到了彩色传真、静止图像、电话会议、印刷及新闻图片的传送上。

7.6.1 JPEG图像压缩流程





7.6.1 JPEG图像压缩流程

- (1) 色彩空间转换

✓ 如果是黑白图像可以直接进行JPEG压缩，如果是彩色图像，需要将RGB转换为YCrCb颜色空间。

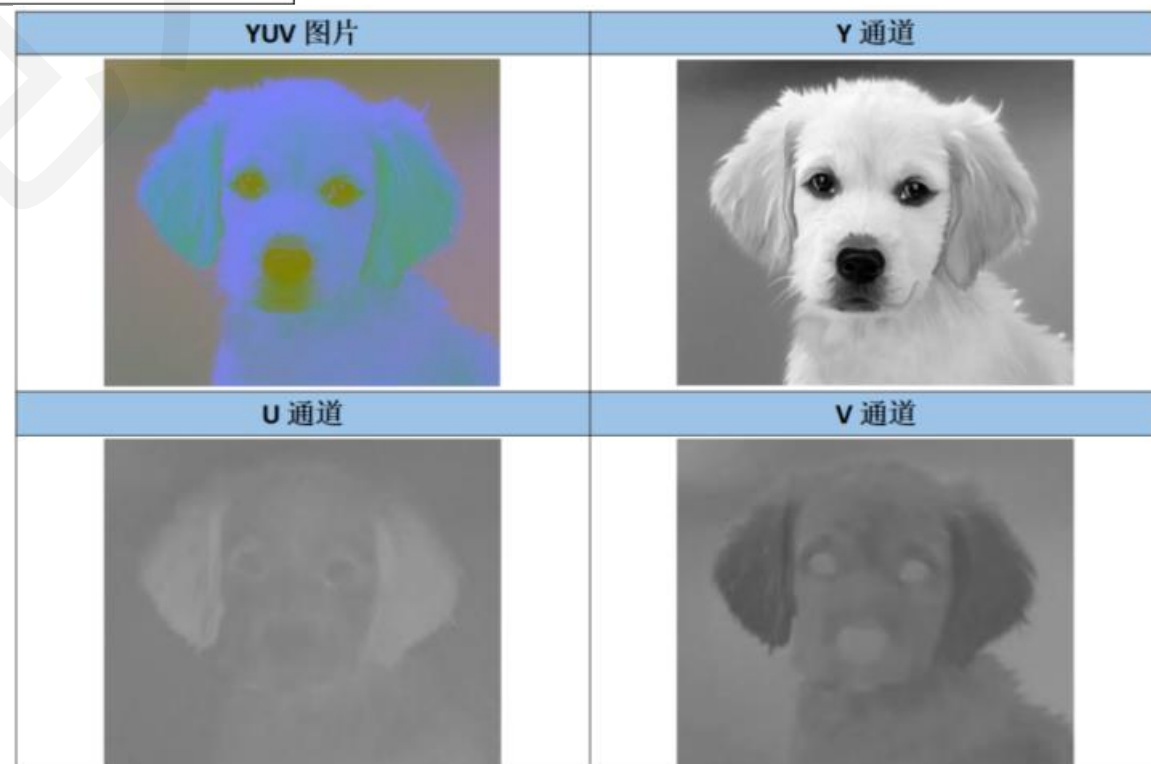
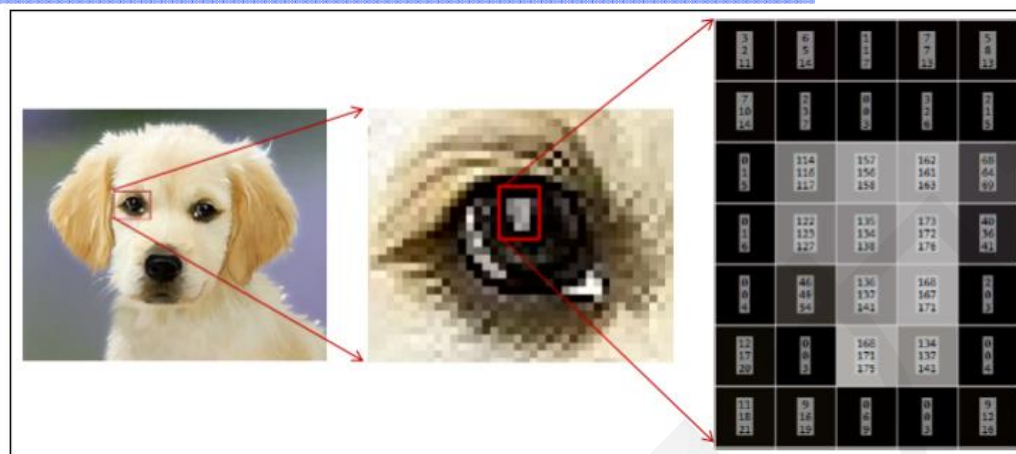
✓ YCrCb颜色空间中，Y代表亮度，Cr,Cb则代表色度和饱和度，三者通常以Y,U,V来表示，即用U代表Cb，用V代表Cr。RGB和YCrCb之间的转换关系：

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

$$Cb = -0.1687R - 0.3313G + 0.5B + 128$$

$$Cr = 0.5R - 0.418G - 0.0813B + 128$$

7.6.1 JPEG图像压缩流程





7.6.1 JPEG图像压缩流程

- (2) 降采样

✓ 研究发现，人眼对亮度变换的敏感度要比对色彩变换的敏感度高出很多，可以认为Y分量要比Cb,Cr分量重要的多。

✓ JPEG压缩算法采用YUV 4:2:0的色度抽样方法。4:2:0表示对于每行扫描的像素，只有一种色度分量以2:1的抽样率存储，也就是说每隔一行/列取值，偶数行取U值，奇数行取V值，UV通道宽度和高度分别降低为原来的1/2。

7.6.1 JPEG图像压缩流程

- (2) 降采样

Y 通道	U 通道	V 通道																																																																																																
<table><tr><td>Y₀₀</td><td>Y₀₁</td><td>Y₀₂</td><td>Y₀₃</td><td>Y₀₄</td><td>Y₀₅</td><td>Y₀₆</td><td>Y₀₇</td></tr><tr><td>Y₁₀</td><td>Y₁₁</td><td>Y₁₂</td><td>Y₁₃</td><td>Y₁₄</td><td>Y₁₅</td><td>Y₁₆</td><td>Y₁₇</td></tr><tr><td>Y₂₀</td><td>Y₂₁</td><td>Y₂₂</td><td>Y₂₃</td><td>Y₂₄</td><td>Y₂₅</td><td>Y₂₆</td><td>Y₂₇</td></tr><tr><td>Y₃₀</td><td>Y₃₁</td><td>Y₃₂</td><td>Y₃₃</td><td>Y₃₄</td><td>Y₃₅</td><td>Y₃₆</td><td>Y₃₇</td></tr><tr><td>Y₄₀</td><td>Y₄₁</td><td>Y₄₂</td><td>Y₄₃</td><td>Y₄₄</td><td>Y₄₅</td><td>Y₄₆</td><td>Y₄₇</td></tr><tr><td>Y₅₀</td><td>Y₅₁</td><td>Y₅₂</td><td>Y₅₃</td><td>Y₅₄</td><td>Y₅₅</td><td>Y₅₆</td><td>Y₅₇</td></tr><tr><td>Y₆₀</td><td>Y₆₁</td><td>Y₆₂</td><td>Y₆₃</td><td>Y₆₄</td><td>Y₆₅</td><td>Y₆₆</td><td>Y₆₇</td></tr><tr><td>Y₇₀</td><td>Y₇₁</td><td>Y₇₂</td><td>Y₇₃</td><td>Y₇₄</td><td>Y₇₅</td><td>Y₇₆</td><td>Y₇₇</td></tr></table>	Y ₀₀	Y ₀₁	Y ₀₂	Y ₀₃	Y ₀₄	Y ₀₅	Y ₀₆	Y ₀₇	Y ₁₀	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄	Y ₁₅	Y ₁₆	Y ₁₇	Y ₂₀	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₃	Y ₂₄	Y ₂₅	Y ₂₆	Y ₂₇	Y ₃₀	Y ₃₁	Y ₃₂	Y ₃₃	Y ₃₄	Y ₃₅	Y ₃₆	Y ₃₇	Y ₄₀	Y ₄₁	Y ₄₂	Y ₄₃	Y ₄₄	Y ₄₅	Y ₄₆	Y ₄₇	Y ₅₀	Y ₅₁	Y ₅₂	Y ₅₃	Y ₅₄	Y ₅₅	Y ₅₆	Y ₅₇	Y ₆₀	Y ₆₁	Y ₆₂	Y ₆₃	Y ₆₄	Y ₆₅	Y ₆₆	Y ₆₇	Y ₇₀	Y ₇₁	Y ₇₂	Y ₇₃	Y ₇₄	Y ₇₅	Y ₇₆	Y ₇₇	<table><tr><td>U₀₀</td><td>U₀₂</td><td>U₀₄</td><td>U₀₆</td></tr><tr><td>U₂₀</td><td>U₂₂</td><td>U₂₄</td><td>U₂₆</td></tr><tr><td>U₄₀</td><td>U₄₂</td><td>U₄₄</td><td>U₄₆</td></tr><tr><td>U₆₀</td><td>U₆₂</td><td>U₆₄</td><td>U₆₆</td></tr></table>	U ₀₀	U ₀₂	U ₀₄	U ₀₆	U ₂₀	U ₂₂	U ₂₄	U ₂₆	U ₄₀	U ₄₂	U ₄₄	U ₄₆	U ₆₀	U ₆₂	U ₆₄	U ₆₆	<table><tr><td>V₁₀</td><td>V₁₂</td><td>V₁₄</td><td>V₁₆</td></tr><tr><td>V₃₀</td><td>V₃₂</td><td>V₃₄</td><td>V₃₆</td></tr><tr><td>V₅₀</td><td>V₅₂</td><td>V₅₄</td><td>V₅₆</td></tr><tr><td>V₇₀</td><td>V₇₂</td><td>V₇₄</td><td>V₇₆</td></tr></table>	V ₁₀	V ₁₂	V ₁₄	V ₁₆	V ₃₀	V ₃₂	V ₃₄	V ₃₆	V ₅₀	V ₅₂	V ₅₄	V ₅₆	V ₇₀	V ₇₂	V ₇₄	V ₇₆
Y ₀₀	Y ₀₁	Y ₀₂	Y ₀₃	Y ₀₄	Y ₀₅	Y ₀₆	Y ₀₇																																																																																											
Y ₁₀	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄	Y ₁₅	Y ₁₆	Y ₁₇																																																																																											
Y ₂₀	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₃	Y ₂₄	Y ₂₅	Y ₂₆	Y ₂₇																																																																																											
Y ₃₀	Y ₃₁	Y ₃₂	Y ₃₃	Y ₃₄	Y ₃₅	Y ₃₆	Y ₃₇																																																																																											
Y ₄₀	Y ₄₁	Y ₄₂	Y ₄₃	Y ₄₄	Y ₄₅	Y ₄₆	Y ₄₇																																																																																											
Y ₅₀	Y ₅₁	Y ₅₂	Y ₅₃	Y ₅₄	Y ₅₅	Y ₅₆	Y ₅₇																																																																																											
Y ₆₀	Y ₆₁	Y ₆₂	Y ₆₃	Y ₆₄	Y ₆₅	Y ₆₆	Y ₆₇																																																																																											
Y ₇₀	Y ₇₁	Y ₇₂	Y ₇₃	Y ₇₄	Y ₇₅	Y ₇₆	Y ₇₇																																																																																											
U ₀₀	U ₀₂	U ₀₄	U ₀₆																																																																																															
U ₂₀	U ₂₂	U ₂₄	U ₂₆																																																																																															
U ₄₀	U ₄₂	U ₄₄	U ₄₆																																																																																															
U ₆₀	U ₆₂	U ₆₄	U ₆₆																																																																																															
V ₁₀	V ₁₂	V ₁₄	V ₁₆																																																																																															
V ₃₀	V ₃₂	V ₃₄	V ₃₆																																																																																															
V ₅₀	V ₅₂	V ₅₄	V ₅₆																																																																																															
V ₇₀	V ₇₂	V ₇₄	V ₇₆																																																																																															



7.6.1 JPEG图像压缩流程

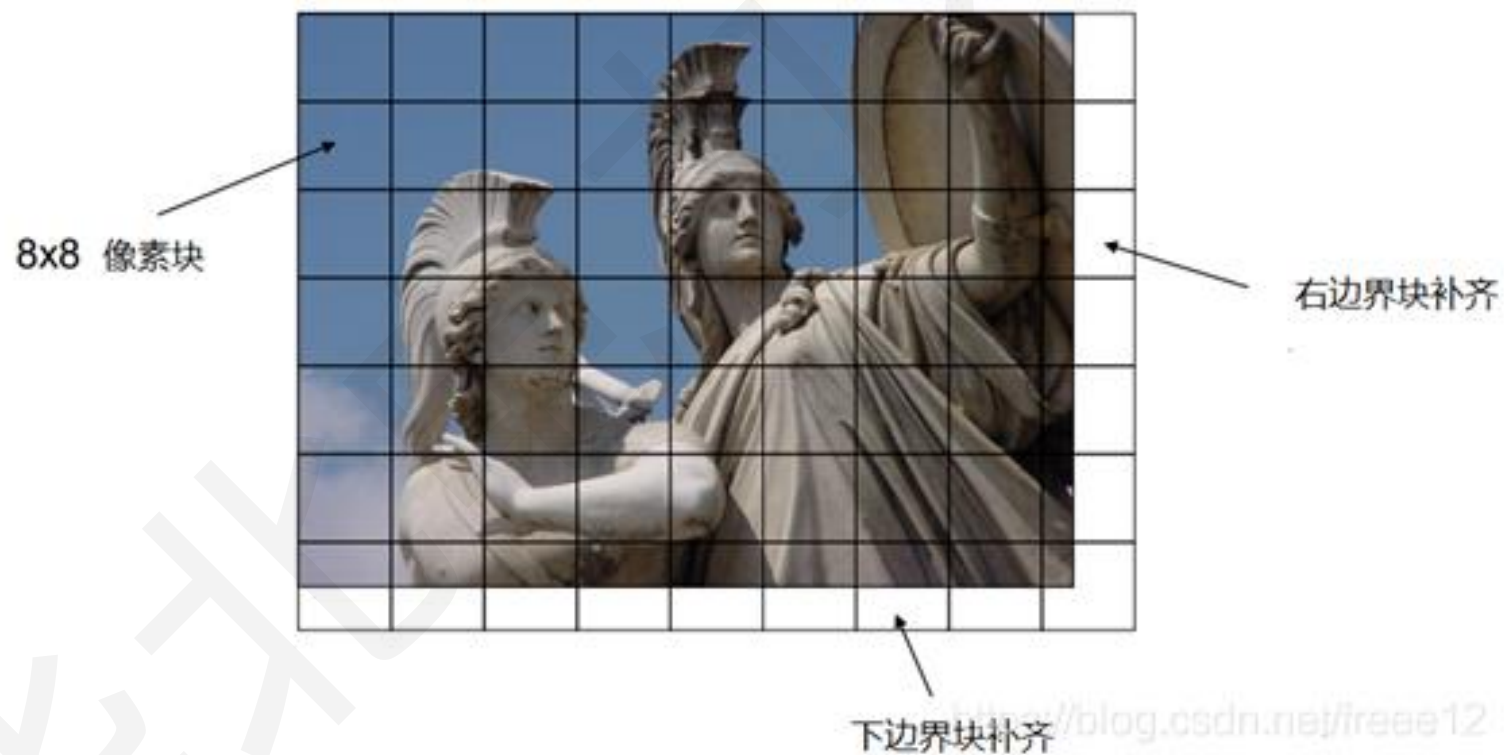
- (3) 分块

- ✓ JPEG算法是在 8×8 像素的数据块上的操作，块（ 8×8 像素）是离散余弦变换操作的基本单位。

- ✓ 在每个图像缓冲区中，数据被从左到右、从上到下地划分成多个 8×8 大小的像素块。这些像素块不重叠，如果图像的行和列像素数不是8的整数倍数，那么就要根据需要通过重复图像的最后一行或列来填充。

7.6.1 JPEG图像压缩流程

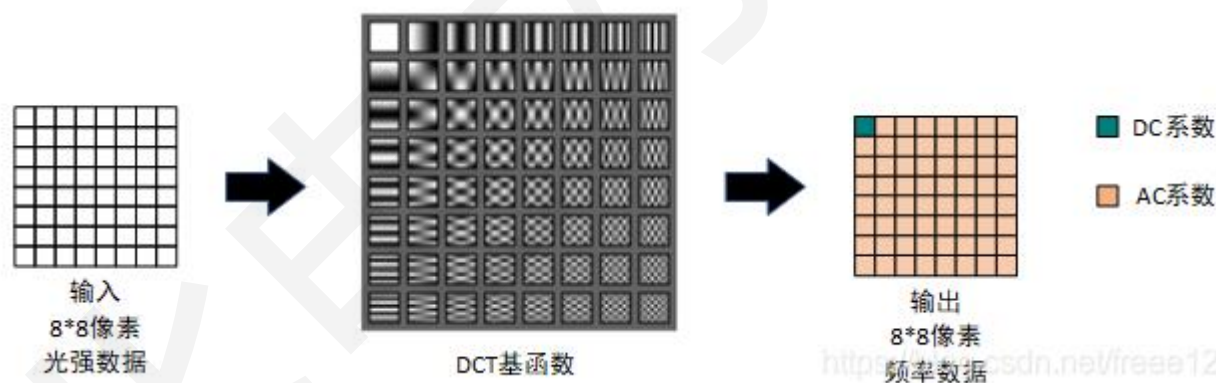
- (3) 分块



7.6.1 JPEG图像压缩流程

- (4) 离散余弦变换

✓ 人类视觉对高频信息不敏感，利用离散余弦变换可分析出图像中高低频信息含量，进而压缩数据。



对每个图像块做离散余弦变换，通过变换可以把能量集中在矩阵左上角少数几个系数上。若不考虑截尾误差，DCT变换过程是属于无失真的转换过程，经DCT转换后每个 8×8 的像素会产生一个DC（直流）系数及63个AC（交流）系数。



7.6.1 JPEG图像压缩流程

- (5) DCT量化

✓ 为了达到压缩数据的目的，需要对DCT系数做量化。量化是对经过离散余弦变换后的频率系数进行量化，这是一个“**多到一**”映射的过程。

✓ 量化的目的是减小非0系数的幅度以及增加0值系数的数目，在一定的主观保真的前提下，丢掉那些对视觉效果影响不大的信息，量化是图像**质量下降**的最主要原因。

7.6.1 JPEG图像压缩流程

• (5) DCT量化

✓ 量化过程是不可逆的有损压缩过程。

✓ 选择“量化比例系数”，然后DCT系数除以“比例系数”得到“量化后的DCT系数”，量化后的比例系数中数值较大的被映射到非零的整数，数值较小的系数被映射到零。

除以相应的
量化系数

235.6	-1.0	-12.1	-5.2	2.1	-1.7	-2.7	1.3	16	11	10	16	24	40	51	61	15	0	-1	0	0	0	0	0	0
-22.6	-17.5	-6.2	-3.2	-2.9	-0.1	0.4	-1.2	12	12	14	19	26	58	60	55	-2	-1	0	0	0	0	0	0	0
-10.9	-9.3	-1.6	1.5	0.2	-0.9	-0.6	-0.1	14	13	16	24	40	57	69	56	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0
-7.1	-1.9	0.2	1.5	0.9	-0.1	0.0	0.3	14	17	22	29	51	87	80	62	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-0.6	-0.8	1.5	1.6	-0.1	-0.7	0.6	1.3	18	22	37	56	68	109	103	77	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.8	-0.2	1.6	-0.3	-0.8	1.5	1.0	-1.0	24	35	55	64	81	104	113	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1.3	-0.4	-0.3	-1.5	-0.5	1.7	1.1	-0.8	49	64	78	87	103	121	120	101	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-2.6	1.6	-3.8	-1.8	1.9	1.2	-0.6	-0.4	72	92	95	98	112	100	103	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0

DCT系数 量化表 量化后的DCT系数



7.6.1 JPEG图像压缩流程

- (5) DCT量化

✓ 量化表的特点是在量化表的左上角的数值都小，而越往右下角则数值越大。

✓ 目的是为**保持**低频区系数的**准确**度，至于高频区，由于人类肉眼对其并不敏感，故量化的数值较大。

✓ 如果量化系数高，那么压缩比就大，质量不清晰，而反之，量化系数低，那么就是相对较少地抛弃图像信息，压缩比就小。因此需要在一定的主观保真的前提下，丢掉那些对视觉效果影响不大的信息。



7.6.1 JPEG图像压缩流程

- (5) DCT量化

✓ 由于人眼视觉系统的频率响应随着空间频率的增加而下降，并且对于两个色度分量的下降比亮度分量快。所以，JPEG为亮度分量和色度分量分别推荐了量化表，那也就是Y分量和UV分量使用的量化表是不同的。

亮度量化步长表

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

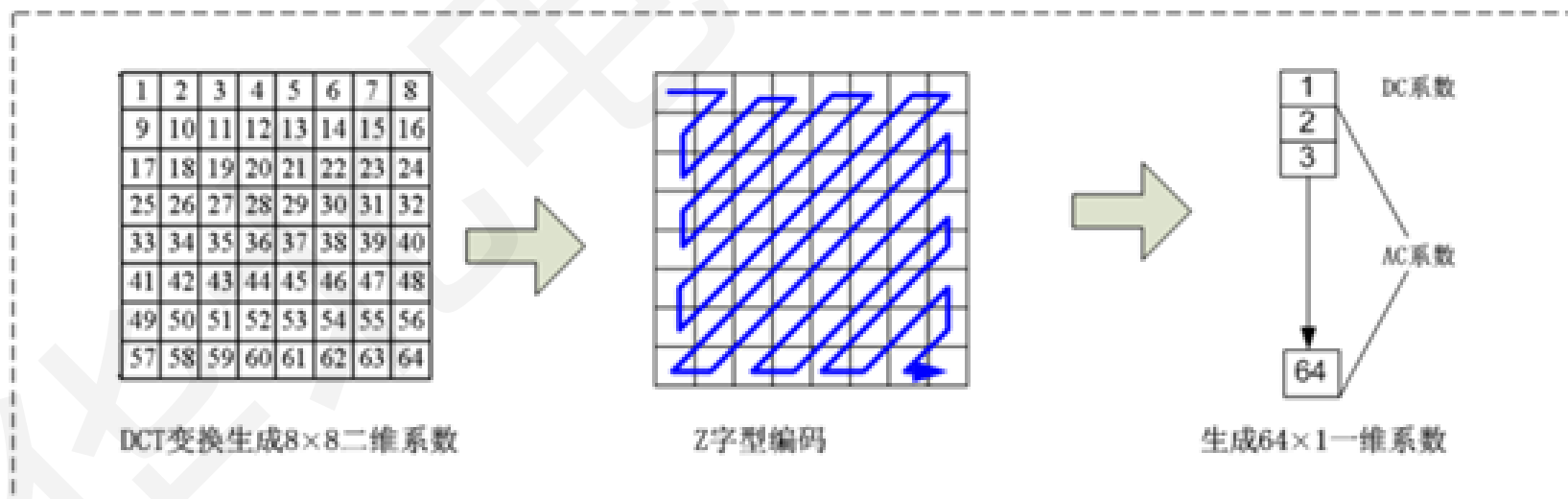
色度量化步长表

17	18	24	47	99	99	99	99
18	21	26	66	99	99	99	99
24	26	56	99	99	99	99	99
47	66	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99

7.6.1 JPEG图像压缩流程

- (6) Z字型编码

✓ 量化后的二维系数要重新编排，并转换为一维系数，为了增加连续的“0”系数的个数，也就是“0”的游程长度，JPEG编码中采用“Z字形”编排方法。





7.6.1 JPEG图像压缩流程

- (6) Z字型编码

✓ 游程编码的结果可以用三个量 (a,b,c) 表示： a 表示0的个数（称为游程）； b 表示系数值； c 表示最后非0位置，如果非0系数已处于最后的位置或其后所有值均为0，则置1，不然，则置0。



量化后的二维DCT系数



15,0,-2,-1,-1,-1,0,0,-1,0,0,.....,0

一维系数



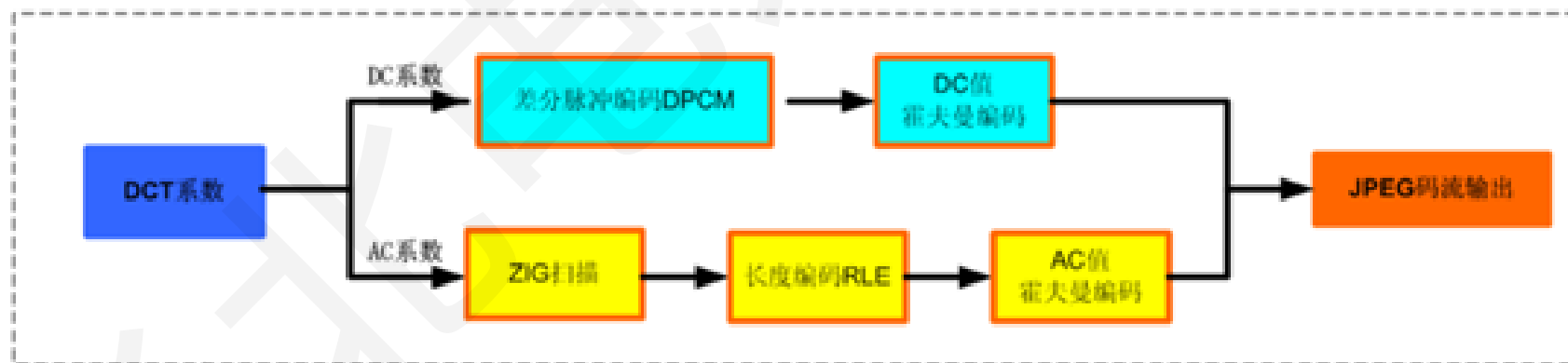
(0,15,0)
(1,-2,0)
(0,-1,0)
(0,-1,0)
(0,-1,0)
(2,-1,1)

游程编码值

7.6.1 JPEG图像压缩流程

- (7) DC系数及AC系数编码

✓ 对DC系数组合每个AC系数组分别编码，因为根据不同的数据特征使用不同压缩编码可以提高压缩率。





7.6.1 JPEG图像压缩流程

- (7.1) DC系数编码: (DPCM)
 - ✓ DC系数有两个特点: 一个特点是系数的数值比较大, 二是相邻 8×8 图像块的DC系数值变化不大。
 - ✓ 根据这两个特点, JPEG算法使用了差分脉冲调制编码 (DPCM) 技术, 对相邻图像块之间量化DC系数的差值进行编码, 降低图像中的空间冗余信息。



7.6.1 JPEG图像压缩流程

- (7.1) DC系数编码: (DPCM)

✓ 举例, 例如量化后的DC系数分别为15, 17, 17, 16, 17, 19, 每一位至少需要5bits去表示, 因此总的就是 $5 \times 6 = 30$ bits。而经过DPCM之后, 每一位可能就需要2bit去表示, 即使加上符号位, 也会远远小于原来的比特数。

	DC1	DC2	DC3	DC4	DC5	DC6
量化后的DC系数	15	17	17	16	17	19

原本:

15 -> 17 -> 17 -> 16 -> 17 -> 19

DPCM编码后:

15 -> +2 -> 0 -> -1 -> +1 -> -2



7.6.1 JPEG图像压缩流程

- (7.2) AC系数编码: (RLE)
 - ✓ 由于经过量化过程后有许多AC系数值变为零, 对这些系数采用游程编码 (RLE) 方式进行压缩, 游程编码也被称为长度编码或行程编码。
 - ✓ 游程编码其实很好理解, 在日常生活中经常被应用到, 例如现在你有一个电话号码, 15900008888, 会怎么记? 那一定是159四个零四个八。
 - ✓ 因此, 游程编码就适合这种有连续重复的数据, 而AC系数有很长的连续0, 因此使用游程编码非常合适。



7.6.1 JPEG图像压缩流程

- (8) 熵编码

✓ 对上面得到的系数序列做进一步压缩称作**熵编码**。在这一阶段，对量化后的DCT系数完成最终的**无损压缩**以提高总压缩比。

✓ **熵编码**就是给出现概率较高的符号使用较短的码字，而出现概率较低的符号使用较长的码字。

✓ JPEG建议的熵编码方法有两种：**霍夫曼编码**和**自适应二进制算术编码**。因为专利问题，一般的JPEG都是使用霍夫曼编码。



7.6.1 JPEG图像压缩流程

- (8) 熵编码

✓ JPEG在具体实现哈夫曼编码时采用了查表方式，在大量实际图像测试结果的基础上生成了哈夫曼码表，编码时只需要直接查表即可。

✓ 编码时，DC系数与AC系数分别使用不同的哈夫曼编码表，亮度与色度也需要不同的哈夫曼编码表，所以一共需要4个编码表。



7.6.1 JPEG图像压缩流程

- (8.1) DC系数编码

量化后的DC系数

DC1	DC2	DC3	DC4	DC5	DC6
15	17	17	16	17	19

原本:

15 -> 17 -> 17 -> 16 -> 17 -> 19

DPCM编码后:

15 -> +2 -> 0 -> -1 -> +1 -> -2

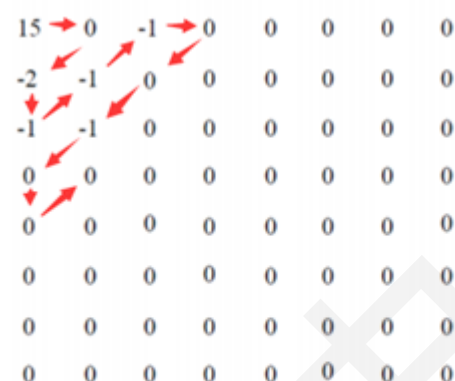
DC系数的亮度差值编码过程

	15	2	0	-1	1	-2
二进制编码	1111	10		0	1	01
二进制码长	4	2		1	1	2
对应码字	101	11	00	010	010	011
最后编码	1011111	1110		0100	0101	01101



7.6.1 JPEG图像压缩流程

- (8.2) AC系数编码



量化后的二维DCT系数



15,0,-2,-1,-1,-1,0,0,-1,0,0,.....,0

一维系数



(0,15,0)
(1,-2,0)
(0,-1,0)
(0,-1,0)
(0,-1,0)
(2,-1,1)

游程编码值

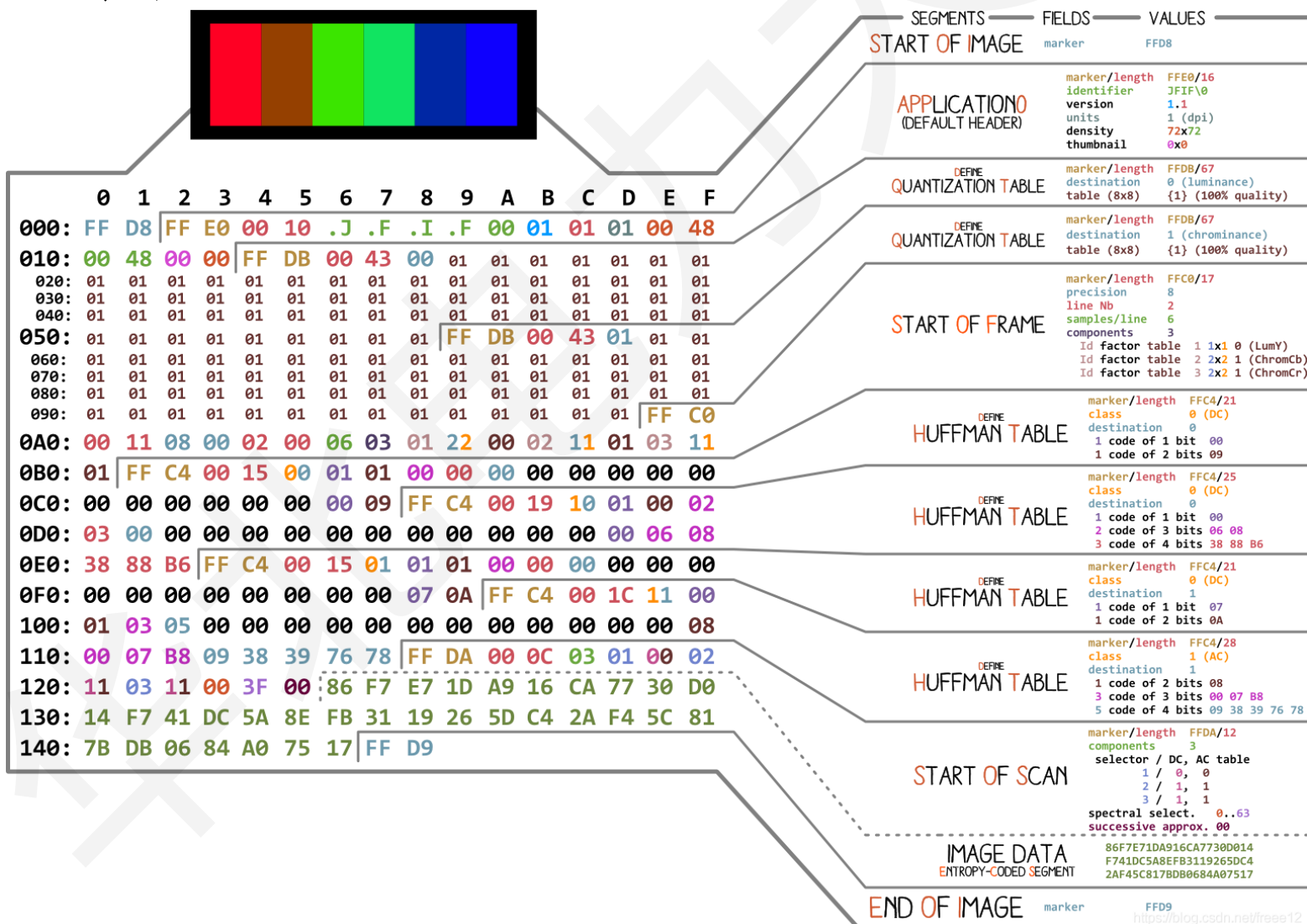
DC系数的亮度
差值编码过程

	(1,-2,0)	(0,-1,0)	(0,-1,0)	(0,-1,0)	(2,-1,1)
系数b二进制编码	01	0	0	0	0
系数b二进制码长n	2	1	1	1	1
连续零的个数a	1	0	0	0	2
对应码字Run/Size=a/n	11011	00	00	00	11100
最后编码	1101101	001	001	001	111000+1010(EOB)



7.6.1 JPEG图像压缩流程

• (9) 总结





7.6.2 JPEG图像压缩比率

- 压缩比率：指的是图片格式在压缩过程后图片占用内存大小与原图占用内存大小之间的**比值**。
- JPEG是一种很灵活的格式，具有调节图像质量的功能，允许用不同的压缩比例对文件进行压缩，支持多种压缩级别，**压缩比率**通常在10:1到40:1之间，压缩比越大，品质就越低；相反地，压缩比越小，品质就越好。