



武汉大学
Wuhan University

第八章 图像压缩(2)

涂卫平

武汉大学计算机学院

2018年秋季学期



主要内容

Main Content



变换编码

JPEG编码标准



变换编码

变换编码是把图像从一种空间变换到另一种空间，再对变换后的信号进行量化与编码操作。在接收端，首先对接收到的信号进行译码，然后再进行**反变换**以恢复原图像。

一般采用的变换都是**正交变换**。通过**正交函数**变换把图像从空间域转换为**能量比较集中**的变换域。然后对变换系数进行编码，达到缩减比特率的目的。

对于大多数图像，大量系数都有较小的幅值，可被粗略地量化（或者完全抛弃），而不会造成明显的图像失真。



变换编码

正交变换的特性：

- ◆ 正交变换是可逆的，不会丢失信息
- ◆ 正交变换有能量保持性质
- ◆ 能量重新分配与集中。在质量允许的情况下，可舍弃一些能量较小的系数，或者对能量大的谱点分配较多的比特，对能量较小的谱点分配较少的比特，从而使数据率有较大的压缩



变换编码

离散余弦变换DCT的优势：

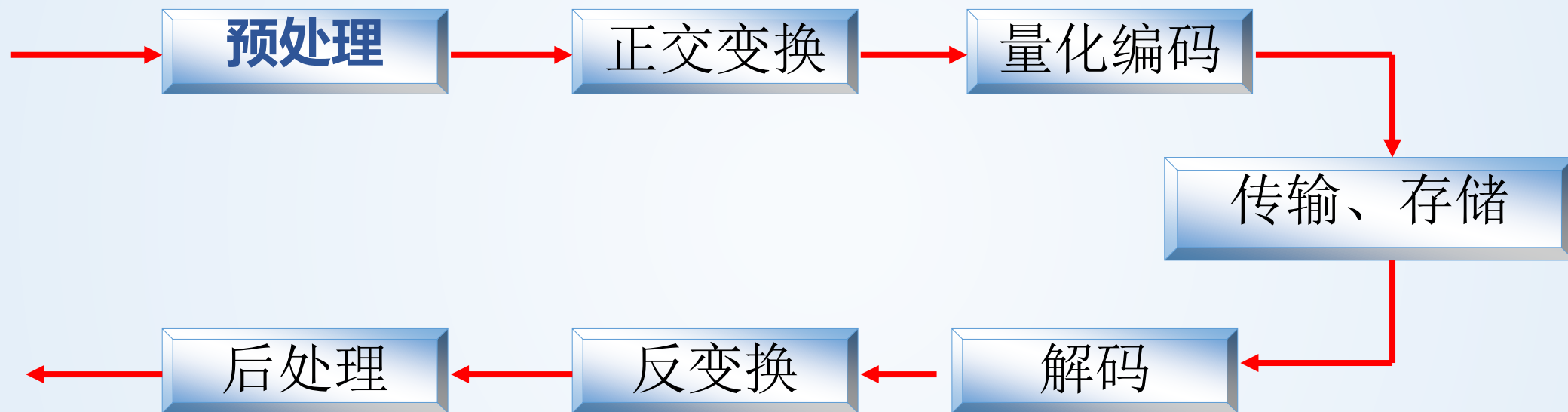
DCT在信息携带能力和计算复杂性之间提供了较好的折中

- ◆ DCT的信息携带能力强，可将最多的信息量装入最少的变换系数中
- ◆ 用单片集成电路就可以实现
- ◆ 可使图像中的块效应变得最小

多数变换编码系统都是基于DCT



变换编码

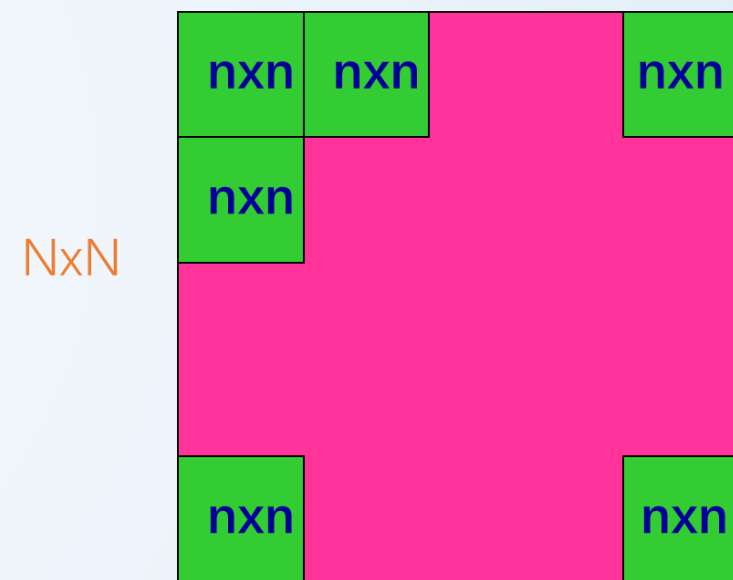
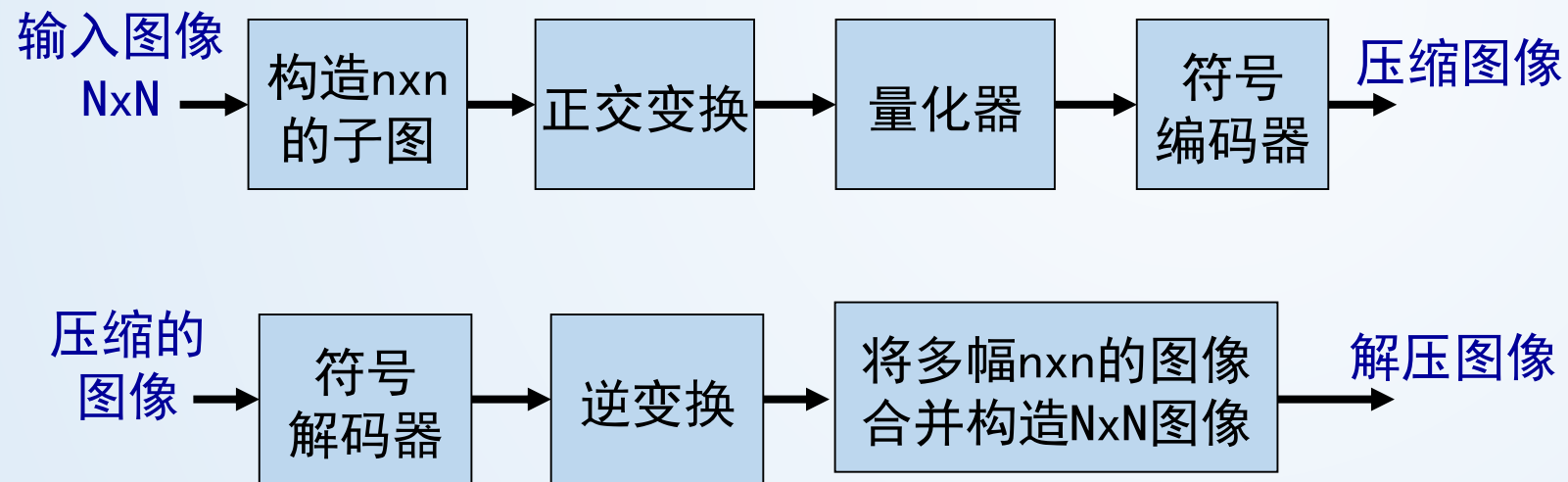


正交变换编码原理框图



变换编码

块变换编码：把图像分成**大小相等且不重叠**的小块，
对每块单独进行编码



构造 $n \times n$ 的子图



变换编码

图像块尺寸的选择

图像块的尺寸是影响编码误差和计算复杂度的一个重要因素。

通常，压缩率和计算复杂度会随着图像块的增大而增大，块效应会随着图像块的增大而降低。

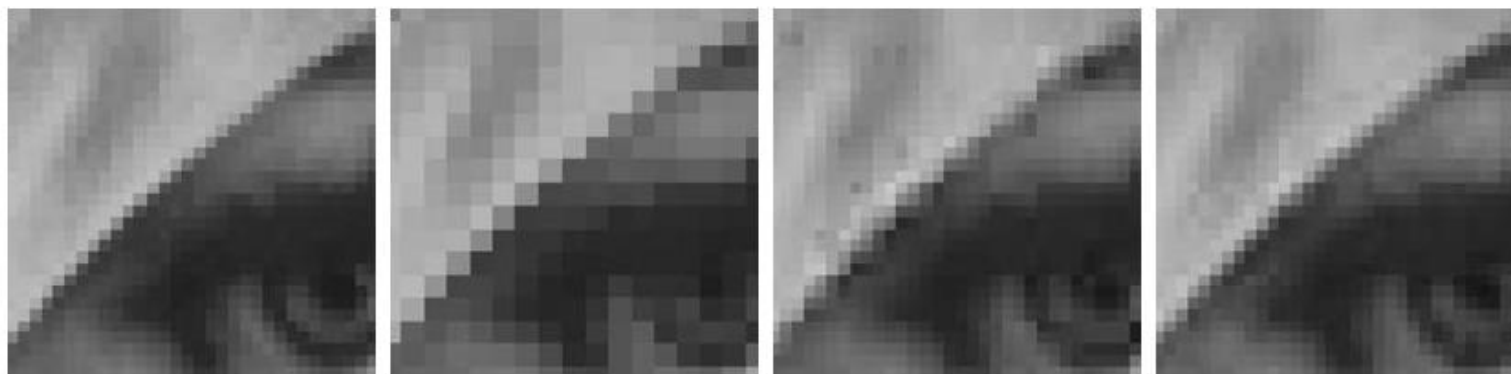
最常用的图像块尺寸为 8×8 和 16×16

原始图像
整体DCT

2×2

4×4

8×8



a b c d

FIGURE 8.27 Approximations of Fig. 8.27(a) using 25% of the DCT coefficients and (b) 2×2 subimages, (c) 4×4 subimages, and (d) 8×8 subimages. The original image in (a) is a zoomed section of Fig. 8.9(a).

说明：右边四幅图都是取DCT变换的25%的系数，再进行逆变换重建图像。区别在于变换块的大小不同



变换编码

8×8 DCT变换实例

原图像为 256级灰度， $L=8$ ，每个像素减 2^{L-1} ，即减128得：

-76	-73	-67	-62	-58	-67	-64	-55
-65	-69	-62	-38	-19	-43	-59	-56
-66	-69	-60	-15	16	-24	-62	-55
-65	-70	-57	-6	26	-22	-58	-59
-61	-67	-60	-24	-2	-40	-60	-58
-49	-63	-68	-58	-51	-60	-70	-53
-43	-57	-64	-69	-73	-67	-63	-45
-41	-49	-59	-60	-63	-52	-50	-34



变换编码

8×8 DCT变换实例

对 $N=8$ ，进行DCT变换，得变换系数矩阵为：

-414	-29.105	-61.941	25.332	54.75	-19.716	-0.59112	2.0786
6.0824	-20.587	-61.633	8.011	11.528	-6.6413	-6.4229	6.7781
-46.09	7.9553	76.727	-25.594	-29.656	10.139	6.3891	-4.7739
-48.914	11.77	34.305	-14.233	-9.8612	6.1913	1.3355	1.4999
10.75	-7.6338	-12.452	-2.0442	-0.5	1.3659	-4.5838	1.5185
-9.6419	1.407	3.412	-3.294	-0.47062	0.4152	1.8119	-0.39392
-2.8272	-1.2285	1.3891	0.076289	0.91873	-3.515	1.7733	-2.7744
-1.2457	-0.7072	-0.48687	-2.6945	-0.089984	-0.39582	-0.91025	0.40512



变换编码

比特分配

对变换后的图像块的系数进行**截取**、**量化**与**编码**的过程，称为**比特分配**。

仅保留变换后图像块的一部分“重要的”系数，丢弃其它部分，可以重建较高质量的图像。

系数截取误差与两个因素有关：

- 丢弃的变换系数的数量与重要性
- 所保留系数的表示精度（量化精度）



变换编码

比特分配

保留系数的2个准则：

- 最大方差准则：保留图像块变换系数中方差最大的若干个。方差最大的系数通常位于图像变换的原点周围，形成一个区域，故这种方法也称为**区域编码**
- 最大幅度准则：保留高于某个阈值的系数，这种方法也称为**阈值编码**



变换编码

比特分配

(1) 区域编码法

- ◆ 区域编码的关键是选出**能量集中的区域**。选取这一区域的系数进行编码传送，而其它区域的系数舍弃不用。在译码端可以对舍弃的系数进行补零处理。这样由于保持了大部分图像能量，在恢复图像中带来的质量劣化并不显著。
- ◆ 区域编码的显著**缺点**是被编码区域一旦选定就固定不变了，而有时图像中的能量也会在其它区域集中较大的数值，舍掉它们会造成图像质量较大的损失。



变换编码

比特分配

(1) 区域编码法

1	1	1	1	1	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

一个典型的区域模板

8	7	6	4	3	2	1	0
7	6	5	4	3	2	1	0
6	5	4	3	3	1	1	0
4	4	3	3	2	1	0	0
3	3	3	2	1	1	0	0
2	2	1	1	1	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

一个典型的区域比特分配



变换编码

比特分配

(2) 阈值编码

- ◆ 阈值编码方法不是选择固定的区域编码，而是**事先设定一个门限值 T** 。如果系数超过 T 值，就保留下来并且进行编码传送，否则就舍弃不用。这种方法有一定的**自适应**能力，可以得到较区域编码更好的图像质量。
- ◆ 阈值编码的缺点：超过门限值的系数的位置是随机的，因此在**编码中除对系数值编码外，还要对其位置进行编码**。这两种码同时传送才能在接收端正确恢复图像。所以，其压缩比有时会下降。



变换编码

比特分配

(2) 阈值编码

- ◆ 阈值编码方法不是选择固定的区域编码，而是**事先设定一个门限值 T** 。如果系数超过 T 值，就保留下来并且进行编码传送，否则就舍弃不用。这种方法有一定的**自适应**能力，可以得到较区域编码更好的图像质量。
- ◆ 阈值编码的缺点：超过门限值的系数的位置是随机的，因此在**编码中除对系数值编码外，还要对其位置进行编码**。这两种码同时传送才能在接收端正确恢复图像。所以，其压缩比有时会下降。



变换编码

比特分配

(2) 阈值编码

1	1	0	1	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

一个典型的阈值模板

0	1	5	6	14	15	27	28
2	4	7	13	16	26	29	42
3	8	12	17	25	30	41	43
9	11	18	24	31	40	44	53
10	19	23	32	39	45	52	54
20	22	33	38	46	51	55	60
21	34	37	47	50	56	59	61
35	36	48	49	57	58	62	63

Zigzag排序

经过阈值模板处理后的变换系数，按照左图所示顺序将变换系数排成一维序列，再进行行程编码。

主要内容

Main Content



变换编码

JPEG编码标准



JPEG简介

JPEG是什么

◆ Joint Photographic Experts Group (JPEG), 联合图像专家组

由ISO（国际标准化组织）和IEC（国际电工委员会）两个组织机构联合组成的专家组，负责制定静态的数字图像数据压缩编码标准

◆ JPEG标准

静态图像数据压缩标准，用于压缩灰度图像和彩色图像。

➤ 有损压缩算法：以离散余弦变换(DCT)为基础。

➤ 无损压缩算法：以预测技术为基础。

◆ JPEG格式

存放使用JPEG压缩的图像文件格式

大多数浏览器都支持这种格式的文件。以这种格式存放的图像文件的后缀是. JPG或. JFIF。



JPEG简介

JPEG是什么

◆ Joint Photographic Experts Group (JPEG), 联合图像专家组

由ISO和IEC两个组织机构联合组成的专家组, 负责制定静态的数字图像数据压缩编码标准

◆ JPEG标准

静态图像数据压缩标准, 用于压缩灰度图像和彩色图像。

➤ 有损压缩算法: 以离散余弦变换(DCT)为基础。

➤ 无损压缩算法: 以预测技术为基础。

◆ JPEG格式

存放使用JPEG压缩的图像文件交换格式

大多数浏览器都支持这种格式的文件。以这种格式存放的图像文件的后缀是. JPG或. JFIF。



JPEG编码过程

JPEG算法概要

- ◆利用视觉系统特性，使用变换、量化和熵编码相结合的方法，以去掉或减少心理视觉冗余和数据本身的空间及编码冗余
- ◆JPEG标准的压缩算法大致分成三个步骤：
 - 使用正向离散余弦变换(FDCT)把图像由空间域表示变换成频率域表示
 - 使用加权函数对DCT系数进行量化，加权函数对人的视觉系统是最佳的
 - 使用Huffman编码器对量化系数进行编码



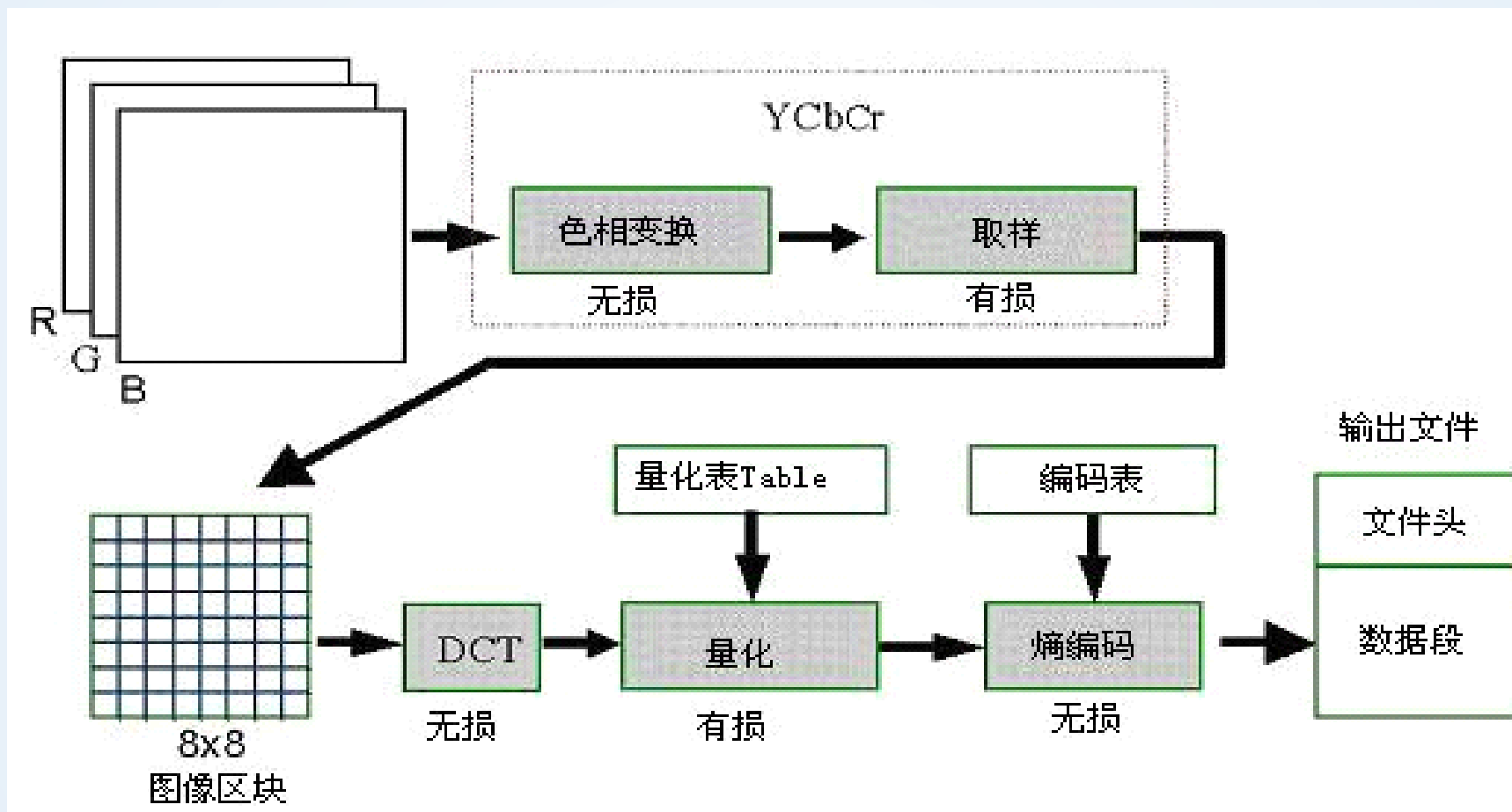
JPEG编码过程

JPEG算法概要

- ◆利用视觉系统特性，使用变换、量化和熵编码相结合的方法，以去掉或减少心理视觉冗余和数据本身的空间及编码冗余
- ◆JPEG标准的压缩算法大致分成三个步骤：
 - 使用正向离散余弦变换(FDCT)把图像由空间域表示变换成频率域表示
 - 使用加权函数对DCT系数进行量化，加权函数对人的视觉系统是最佳的
 - 使用Huffman编码器对量化系数进行编码



JPEG编码过程



JPEG压缩编码流程图



JPEG编码过程

颜色空间转换

- JPEG只支持YCbCr颜色模式
- RGB和 $YCbCr$ 之间可以进行转换

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

$$C_r = (R - Y) / 1.402$$

$$C_b = (B - Y) / 1.772$$

$$R = Y + 1.402C_r$$

$$G = Y - 0.344C_b - 0.714C_r$$

$$B = Y + 1.772C_b$$



JPEG编码过程

JPEG压缩编码算法的主要计算步骤

- ◆正向离散余弦变换(FDCT)
- ◆量化(quantization) (这一步出现了信息的损失)
- ◆Z字形编码(Zigzag scan)。
- ◆使用差分脉冲编码调制(DPCM)对直流系数(DC)进行编码
- ◆使用行程长度编码(RLE)对交流系数(AC)进行编码
- ◆熵编码(entropy coding)



JPEG编码过程

编码端： 8*8的图像数据块，原始图像的采样精度为p位，是无符号整数，输入时把 $[0, 2^p]$ 范围的无符号整数变成 $[-2^{p-1}, 2^{p-1}-1]$ 范围的有符号整数，以此作为离散余弦正变换FDCT (forward DCT) 的输入。

解码端： 经过离散余弦逆变换IDCT (inverse DCT) 后，得到一系列的8*8的图像数据块，需要将数值范围从 $[-2^{p-1}, 2^{p-1}-1]$ 变回到 $[0, 2^{p-1}]$ ，来获得重构图像。

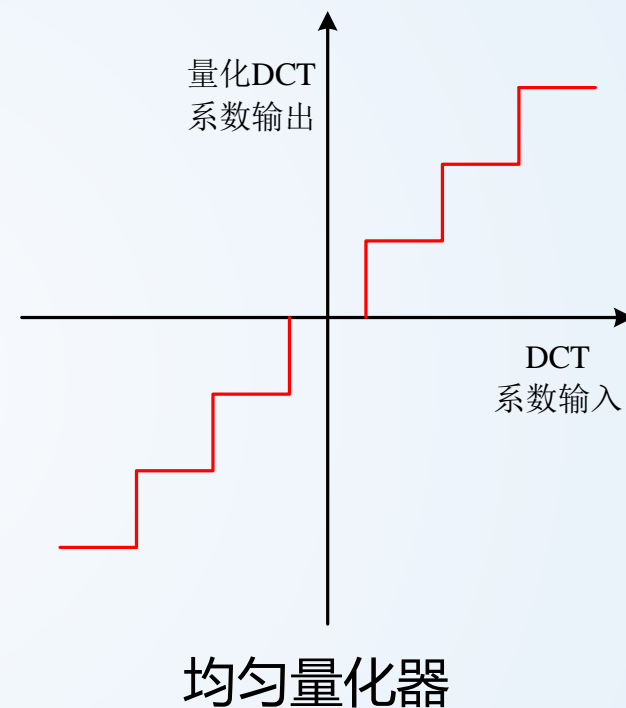
注： 如果FDCT和IDCT变换计算精度足够高，且系数未经过量化，那么原始的8*8点信号能得到精确的恢复



JPEG编码过程

量化

- 对DCT变换后的系数进行量化
- 量化的目的是降低非“0”系数的幅度以及增加“0”值系数的数目
- 量化是造成图像质量下降的最主要原因
- JPEG使用将每个变换系数与对应的量化步距的商进行均匀量化



$$\hat{F}(u, v) = \text{round}\left(\frac{F(u, v)}{Q(u, v)}\right)$$



JPEG编码过程

量化步距

- 按照系数所在的位置和每种颜色分量的色调值来确定的
- 因为人眼对亮度信号比对色差信号更敏感，因此使用两种量化表
 - 由于人眼对低频分量的图像比对高频分量的图像更敏感，因此表中的左上角的量化步距要比右下角的量化步距小

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

亮度量化步长表

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

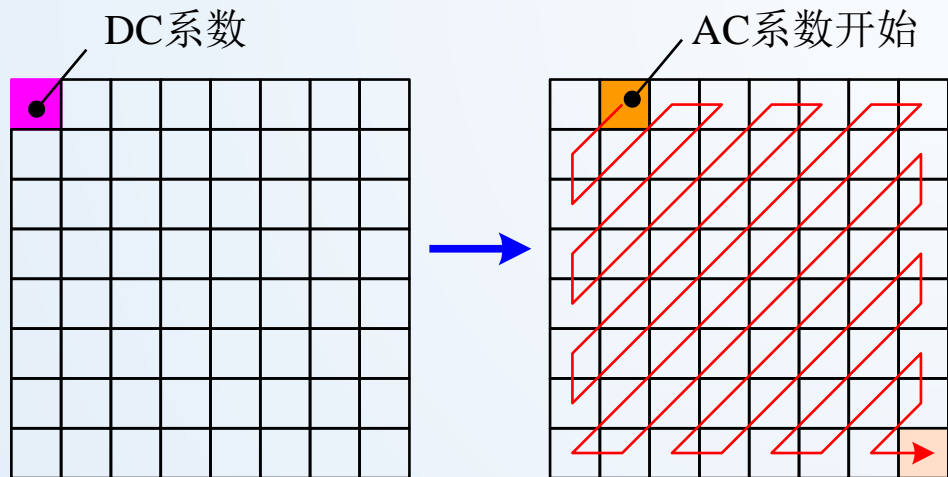
色差量化步长表



JPEG编码过程

Z字形编排

- DCT系数的编排第一格为DC（直流分量）系数，其余的都是AC（交流分量）系数
- DCT系数的序号小的位置表示频率较低，把一个 8×8 的矩阵变成一个 1×64 的矢量



量化DCT系数的编排

0	1	5	6	14	15	27	28
2	4	7	13	16	26	29	42
3	8	12	17	25	30	41	43
9	11	18	24	31	40	44	53
10	19	23	32	39	45	52	54
20	22	33	38	46	51	55	60
21	34	37	47	50	56	59	61
35	36	48	49	57	58	62	63

DCT系数序号



JPEG编码过程

DC系数（直流分量）：能量一般较大，相邻的8*8块之间的DC系数有强的相关性，JPEG中对其采用**差分编码**，记录差值 $DIFF = DC_j - DC_{j-1}$

AC系数（交流分量）：63个交流分量采用**Z字形行程编码**



JPEG编码过程

熵编码

- ◆用于进一步压缩采用DPCM编码后的DC系数差值和RLE编码后的AC系数
- ◆JPEG建议的熵编码方案是Huffman编码和自适应二进制算术编码



武汉大学
Wuhan University

谢谢!

2018.11.14.

