



Research Institute for Future Media Computing    Institute of Computer Vision  
未来媒体技术与研究所    计算机视觉研究所



# 多媒体系统导论

## Fundamentals of Multimedia System

授课教师：朱映映教授

Email: zhuyy@szu.edu.cn

# 第九讲

# Image Compression

# Standards

第9章

# 1. JPEG标准

## ◆ JPEG是什么

- JPEG=Joint Photographic Experts Group
  - 静态数字图像数据压缩标准
    - 由ISO和IEC两个组织联合组成的专家组开发
    - 国际通用标准，称为JPEG标准
    - 灰度和彩色图像均可采用
    - 采用JPEG标准压缩的文件使用.JPG或.JFF作为文件扩展名
- JPEG专家组开发了两种基本的压缩算法
  - 采用以离散余弦变换(Discrete Cosine Transform, DCT)为基础的有损压缩算法。压缩比为25:1时，非图像专家难以找出压缩前后图像之间的差别
  - 采用预测技术为基础的无损压缩算法

## 2. DCT变换基于的图像特性

- ◆ 在图像区域内，有用的图像内容变化相对缓慢，也即，在一个小区域内（ $8 \times 8$ 的图像块）亮度值的变换不会太频繁。
- ◆ 心理学实验表明，在空间域内，人类对高频分量损失的感知能力远远低于对低频分量损失的感知能力。
- ◆ 人类对灰度（黑与白）的视觉敏感度要高于对彩色的敏感度。

# 3. JPEG压缩算法概要

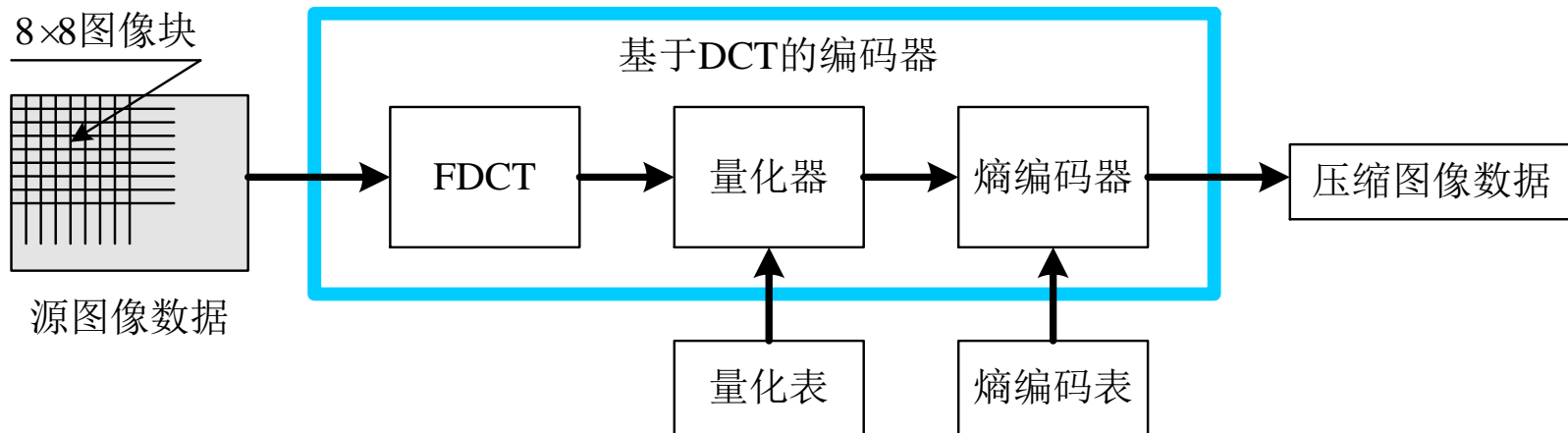
## ◆ JPEG算法概要

- 利用视觉系统特性，使用变换、量化和熵编码相结合，去掉或减少视觉冗余和数据冗余
- 压缩算法大致分成三个步骤
  - 用正向离散余弦变换(Forward Discrete Cosine Transform, FDCT)把空间域表示的图变换成频率域表示的图
  - 用加权函数对DCT系数进行量化，这个加权函数对于人的视觉系统是最佳的
  - 使用霍夫曼可变字长编码器对量化系数进行编码
- JPEG与颜色空间无关，处理单独的彩色分量图像，因此可以压缩来自不同颜色空间的数据

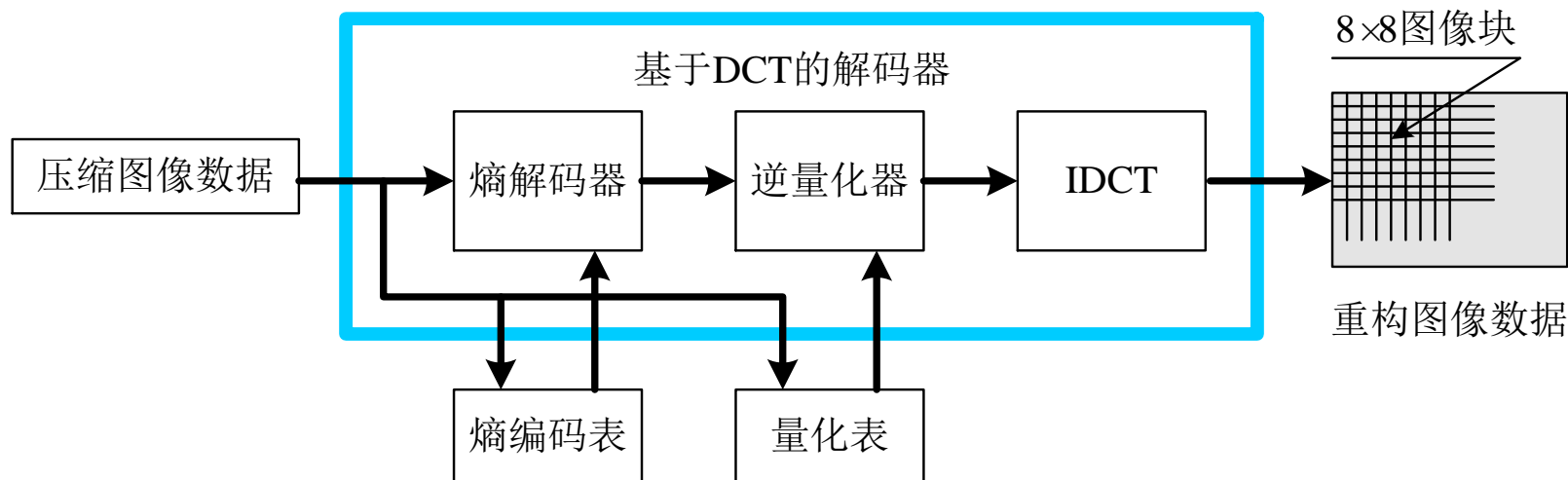
# 3. JPEG压缩算法概要

## ◆ JPEG算法的计算步骤

- (0) 将图像(如RGB颜色空间)转换为YCbCr并进行二次采样
- (1) 正向离散余弦变换(FDCT)
- (2) 量化(quantization)
- (3) Z字形编码(zigzag scan)
- (4) 使用DPCM对直流系数(DC)进行编码
- (5) 用行程长度编码(RLE)对交流系数(AC)进行编码
- (6) 熵编码(entropy coding)



(a) JPEG压缩算法框图



(b) JPEG解压缩算法框图

## JPEG压缩-解压缩算法框图

### 3. JPEG压缩算法概要

#### - 2.1. 离散余弦变换

二维离散余弦变换(2D DCT)也叫做正向离散余弦变换(2D FDCT), 用下式表示,

$$Y = AXA^T \quad (5-1)$$

2D DCT的逆变换(2D IDCT)为,

$$X = A^T Y A \quad (5-2)$$

$X$  是输入样本矩阵,  $Y$  是变换后的系数矩阵,  $A$  是  $N \times N$  变换矩阵。 $A$  的元素是,

$$A_{ij} = C_i \cos \frac{(2j+1)i\pi}{2N}, \text{ 其中,} \quad (5-3)$$
$$C_i = \sqrt{\frac{1}{N}} \quad (i=0), \quad C_i = \sqrt{\frac{2}{N}} \quad (i>0)$$



### 3. JPEG压缩算法概要

#### 正向离散余弦变换说明如下

(1) 对每个单独的彩色图像分量，把整个分量图像分成 $8 \times 8$ 图像块，如图所示，作为DCT的输入，通过DCT把能量集中在频率较低的少数几个系数上

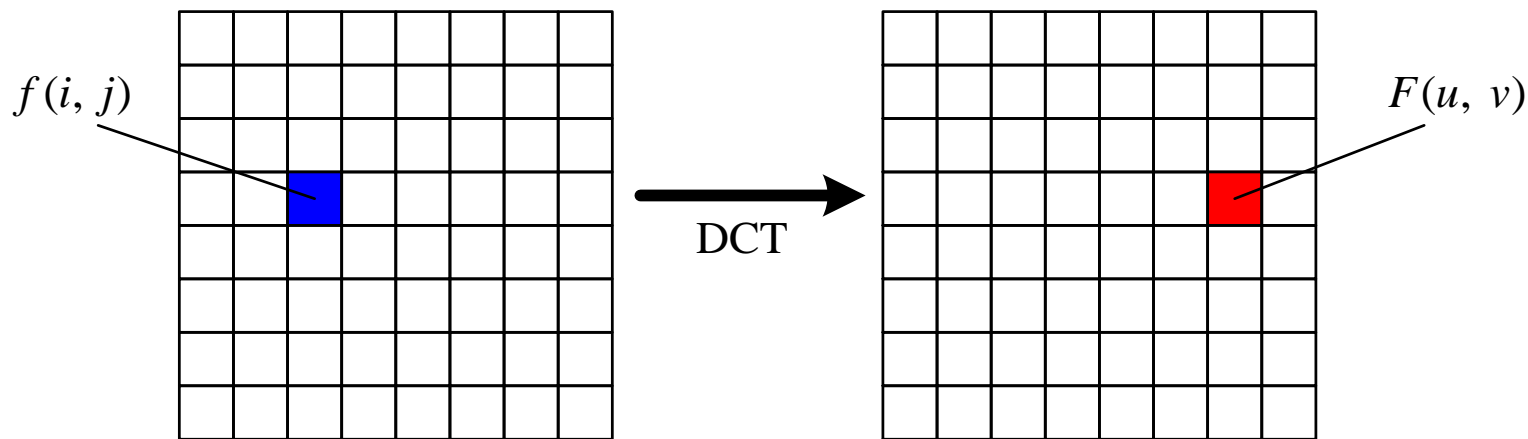


图 离散余弦变换

### 3. JPEG压缩算法概要

- ◆ 考虑一个子图像块(8\*8)
- ◆ 2D DCT

$$F(u, v) = \frac{C(u)C(v)}{4} \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 \cos \frac{(2i+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2j+1)v\pi}{16} f(i, j)$$

- ◆ 2D IDCT

$$\tilde{f}(i, j) = \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 \frac{C(u)C(v)}{4} \cos \frac{(2i+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2j+1)v\pi}{16} F(u, v)$$

- ◆  $C(u)$  与  $C(v)$  :  $C(\xi) = \begin{cases} \frac{\sqrt{2}}{2} & \text{if } \xi = 0, \\ 1 & \text{otherwise.} \end{cases}$
- ◆  $f(i,j)$ 是图像样本矩阵或样本的预测误差矩阵,  $F(u,v)$  是 $f(i,j)$ 经过DCT后的系数矩阵,  $F(0,0)$ 是8\*8个像素值的平均值, 称为直流系数(DC), 其他称为交流系数(AC)

### 3. JPEG压缩算法概要

(3) 在计算二维DCT时，可用下面的计算式把二维DCT变成一维DCT，如图 5-9 所示，实际的快速计算方法可参看参考文献[4]，

$$\begin{aligned} F(u, v) &= \frac{1}{2} C(u) \left[ \sum_{i=0}^7 G(i, v) \cos \frac{(2i+1)u\pi}{16} \right] \\ G(i, v) &= \frac{1}{2} C(v) \left[ \sum_{j=0}^7 f(i, j) \cos \frac{(2j+1)v\pi}{16} \right] \end{aligned} \quad (5-6)$$

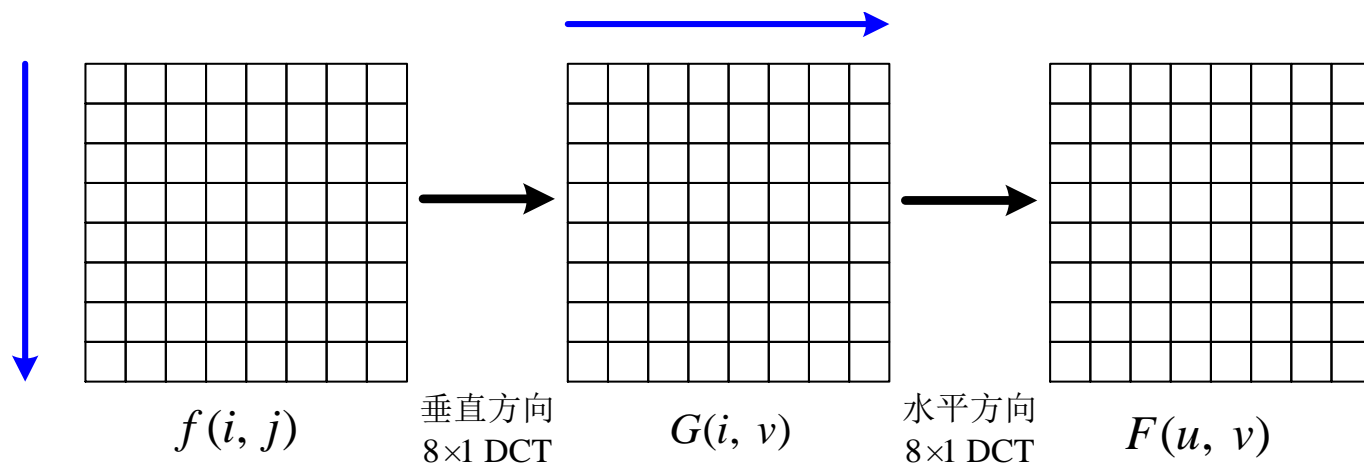


图 二维DCT变换方法

# 3. JPEG压缩算法概要

## 2.2. 量化

- 对经过FDCT变换后的频率系数进行量化
- 目的：降低非0系数的幅度，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。
- 使用如右图所示的均匀量化器进行量化
- 量化步距按系数所在位置和每种颜色分量的色调值确定

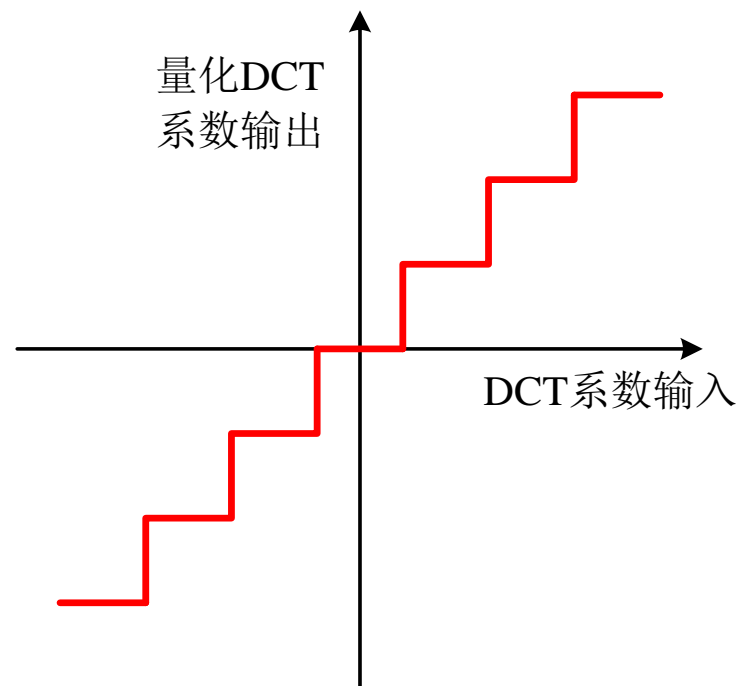


图 均匀量化器

### 3. JPEG压缩算法概要

量化用下式计算,

$$\hat{F}(u,v) = \text{round}\left(\frac{F(u,v)}{Q(u,v)}\right) \quad (5-7)$$

其中,  $F(u,v)$  表示 DCT 系数,  $Q(u,v)$  表示“量化矩阵”,  $\hat{F}(u,v)$  表示量化(后的)系数,  $F(u,v)/Q(u,v)$  表示两个矩阵的对应元素相除,  $\text{round}$  表示四舍五入。

### 3. JPEG压缩算法概要

- 使用两种量化表

表5-6用于亮度量化表，表5-7用于色度量化表

- 人眼对低频分量图像比高频分量图像更敏感，因此表中的左上角的量化步距要比右下角的量化步距小
- 表中数值对CCIR 601标准电视图像是最佳的

表 5-6 亮度量化表

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

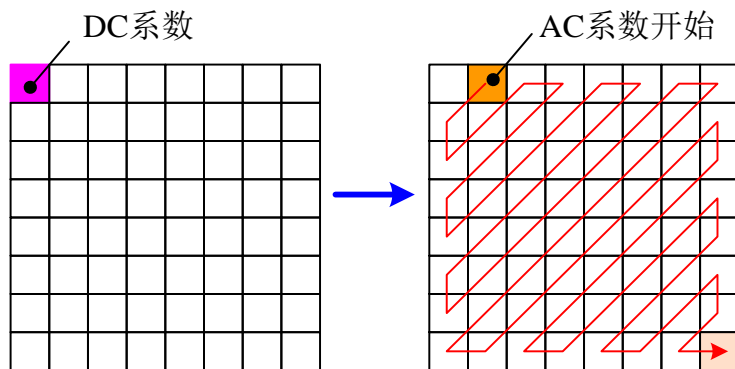
表 5-7 色差量化表

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

### 3. JPEG压缩算法概要

#### - 2.3. Z字形排列

- 重新编排量化后的系数，增加连续的0值系数数目
- 排列方法：按Z字形排列，如下图(a)
- DCT系数序号见图5-11(b)，序号小的位置表示频率较低，用  $zz(0)$ ,  $zz(1)$ , ...,  $zz(63)$  表示
- $8 \times 8$  的矩阵变成  $1 \times 64$  的矢量



(a) 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

(b) DCT系数的序号

图 Z字形排列

# 3. JPEG压缩算法概要

- 2.4. 熵编码
  - 目的：压缩采用差分脉冲调制编码(DPCM)编码后的DC系数差值和RLE编码后的AC系数
  - 方法：使用霍夫曼编码器，用查表方法编码，霍夫曼码表可事先定义
  - 熵编码过程：
    - (1) DC系数编码
      - i) DPCM编码 ii) 生成中间符号 iii) 符号编码
    - (2) AC系数编码
      - i) 生成中间符号 ii) 符号编码

*注：见DC, AC haffman编码表网页*

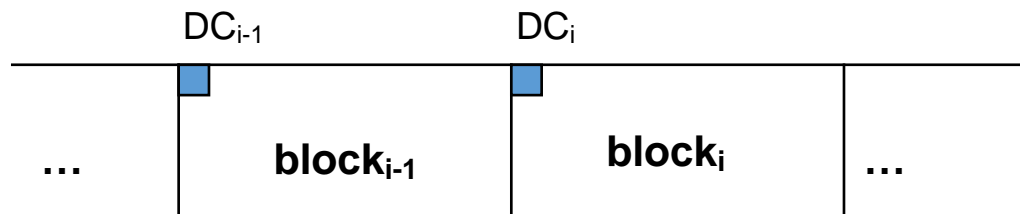


### 3. JPEG压缩算法概要

#### ◆ 直流系数(DC)的编码

- **DC系数的特点**:  $8 \times 8$ 图像块经过DCT变换之后得到的DC直流系数有两个特点, 一是系数的数值比较大, 二是相邻 $8 \times 8$ 图像块的DC系数值变化不大。
- 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(Delta)进行编码。

$$\Delta = DC(0,0)_i - DC(0,0)_{i-1}$$



- 例: 如前五个图像块的DC系数分别为150,155,149,152,144, 则DPCM编码后得到150,5,-6,3,-8

### 3. JPEG压缩算法概要

#### ◆ 交流系数(AC)的编码

- AC系数的特点:  $1 \times 64$ 矢量中包含有许多“0”系数, 并且许多“0”是连续的。
- JPEG使用非常简单和直观的行程长度编码(RLE)对它们进行编码。
- JPEG使用了1个字节的高4位来表示连续“0”的个数, 而使用它的低4位来表示编码下一个非“0”系数所需要的位数, 跟在它后面的是量化AC系数的数值。

例:  $\hat{F}(u,v)$  经Z字扫描后为(32,6,-1,-1,0,-1,0,0,0,-1,0,0,1,0,0,...0)

RLE后: (0,6)(0,-1)(0,-1)(1,-1)(3,-1)(2,1)(0,0)

### 3. JPEG压缩算法概要

#### ◆ 熵(Entropy)编码

- 使用熵编码的原因：对DPCM编码后的直流DC系数和RLE编码后的交流AC系数作进一步的压缩。
- 在JPEG有损压缩算法中，使用霍夫曼编码器来减少熵，霍夫曼编码器使用很简单的查表(lookup table)方法进行编码。

压缩数据符号时，霍夫曼编码器对出现频度比较高的符号分配比较短的代码，而对出现频度较低的符号分配比较长的代码。这种可变长度的霍夫曼码表可以事先进行定义。

- DC码表符号举例

如果DC的值(Value)为5或-5，符号SSS用于表达实际值所需要的位数，实际位数就等于3。  
表示为：中间符号(3, 5),或(3, -5)

Value	SSS
0	0
-1, 1	1
-3,-2, 2,3	2
-7..-4, 4..7	3

## 3. JPEG压缩算法概要

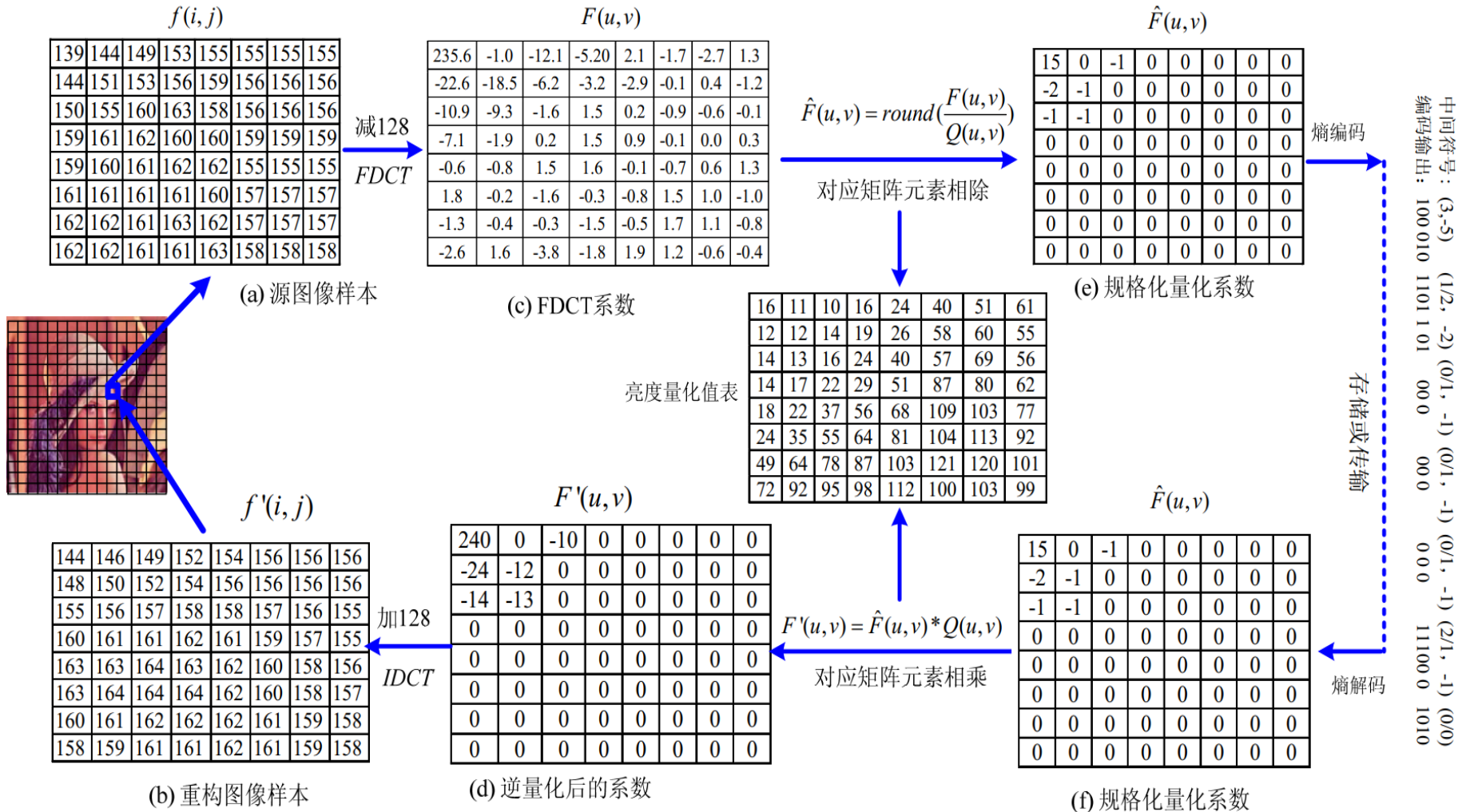
### 2.5. 组成数据位流

JPEG编码的最后一个步骤，把各种标记代码和编码后的图像数据组成一帧一帧的数据，便于传输、存储和译码器译码

DC:15

AC:0,-2,-1,-1,-1,0,0,-1,0,...,0

AC可表示为: (1,-2)(0,-1)(0,-1)(0,-1)(2,-1)(0,0)



## 3. JPEG压缩算法概要

### 2.6. JPEG Demo

[https://www2.cs.sfu.ca/mmbook/demos/jpeg\\_compression/compressjpeg.html](https://www2.cs.sfu.ca/mmbook/demos/jpeg_compression/compressjpeg.html)

## 4. JPEG2000标准

- ◆ JPEG2000核心编码由ISO/IEC 15444-1指定，在压缩率-失真间进行了更好地权衡。 JPEG2000是JPEG的升级版，其压缩率比JPEG高约30%左右。
- ◆ JPEG2000与JPEG的区别
  - 1) 高效的编码方法。 JPEG2000采用小波变换和高效的数据组织方式EB-COT代替8X8DCT，并采用算术编码，使得在同样压缩比下编码性能比JPEG提高约2dB；
  - 2) ROI编码。在有些应用中，图像的某个区域比其他区域(背景)具有更高的重要性, 这个重要区域常称为感兴趣区域。 JPEG2000支持对ROI进行质量更高的编码；
  - 3) 可伸缩性编码。 JPEG2000支持类似于分层方式的空间分辨率可伸缩性和信噪比可伸缩性编码。后者意味着可以在已编码流的不同点截断，以获得信噪比不同的重建图像。

## 4. JPEG2000标准

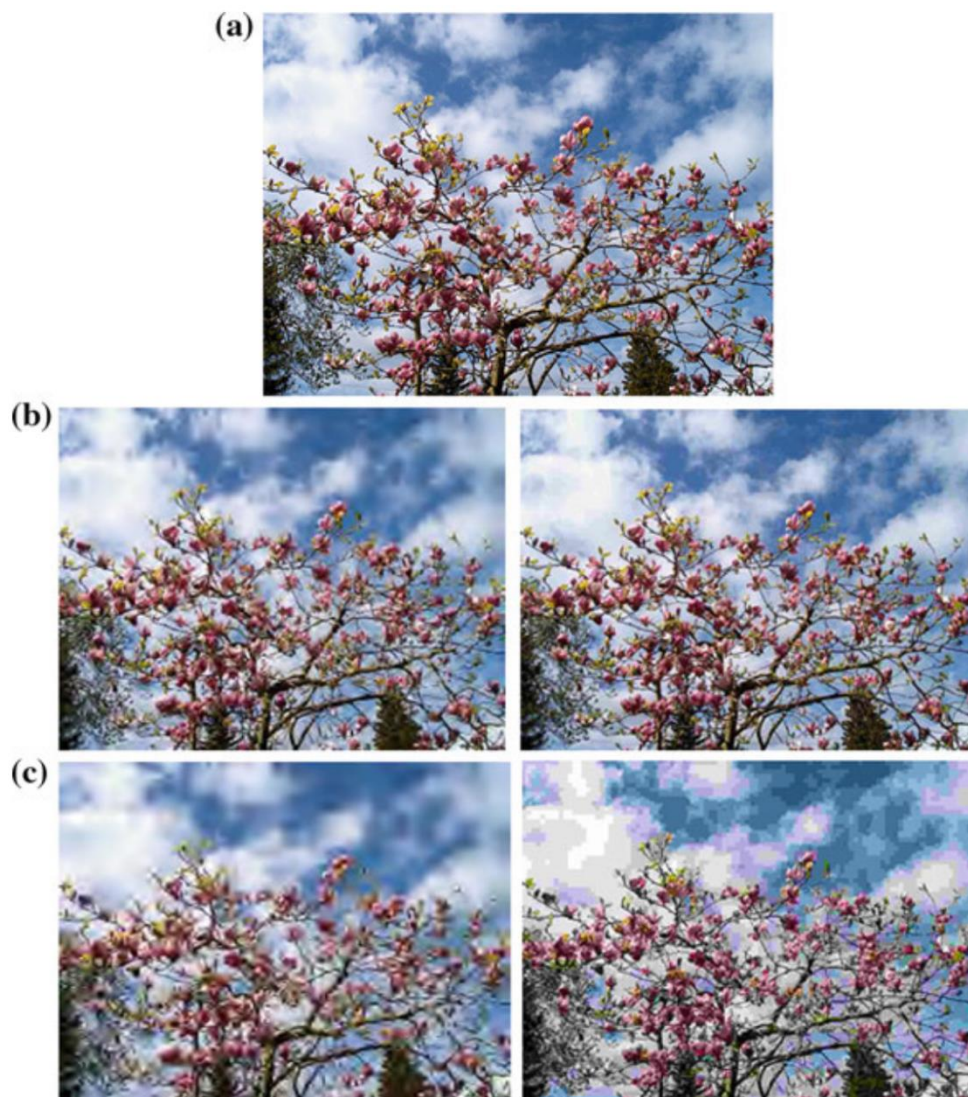


图 JPEG(左)与JPEG2000(右)的对比

a)原图 b)压缩质量为0.75bpp时 c)压缩质量为0.25bpp时