

- JPEG标准
- JPEG2000标准*

图像压缩标准



讲师：肖俊
(肖俊)
软件与技术学院

Fundamentals of Multimedia —— Image Compression Standards (2025 Spring)

2

1. JPEG标准

引言

•JPEG是一种有损图像压缩方法。它采用了一种使用DCT（离散余弦变换）的变换编码方法。

•图像是空间域中 i 和 j （或传统上的 x 和 y ）的函数。二维DCT在JPEG中作为一个步骤使用，以得到一个在空间频率域中是函数 $F(u, v)$ 的频率响应，由两个整数 u 和 v 索引。

简介

- JPEG：联合图像专家组
- 原名
 - 国际标准化组织（ISO）委员会
- 首个国际静态图像压缩标准，于1992年发布：ISO 10918 - 1
- 由于其优良特性，JPEG在发布仅几年后就取得了巨大成功
- 网络上近80%的图像是通过JPEG标准进行压缩的

多媒体基础 - 图像压缩标准（2025年春季）

4

JPEG图像压缩的观察结果

- JPEG中DCT变换编码方法的有效性依赖于3个主要观察结果：

观察结果1：有用的图像内容在整个图像上变化相对缓慢，即强度值在小区域（例如，在一个 8×8 图像块内）多次大幅变化的情况是不常见的。

- 图像中的许多信息是重复的，因此存在“空间冗余”。

多媒体基础 - 图像压缩标准（2025年春季）

6

JPEG图像压缩的观察

观察2：心理物理实验表明，与低频分量的损失相比，人类不太可能注意到高频空间分量的损失。

•通过大幅减少高空间频率内容，可以降低空间冗余。

观察3：灰度（“黑白”）图像的视觉敏锐度（区分间距相近线条的准确性）比彩色图像高得多。

•JPEG中使用了色度子采样（4:2:0）。

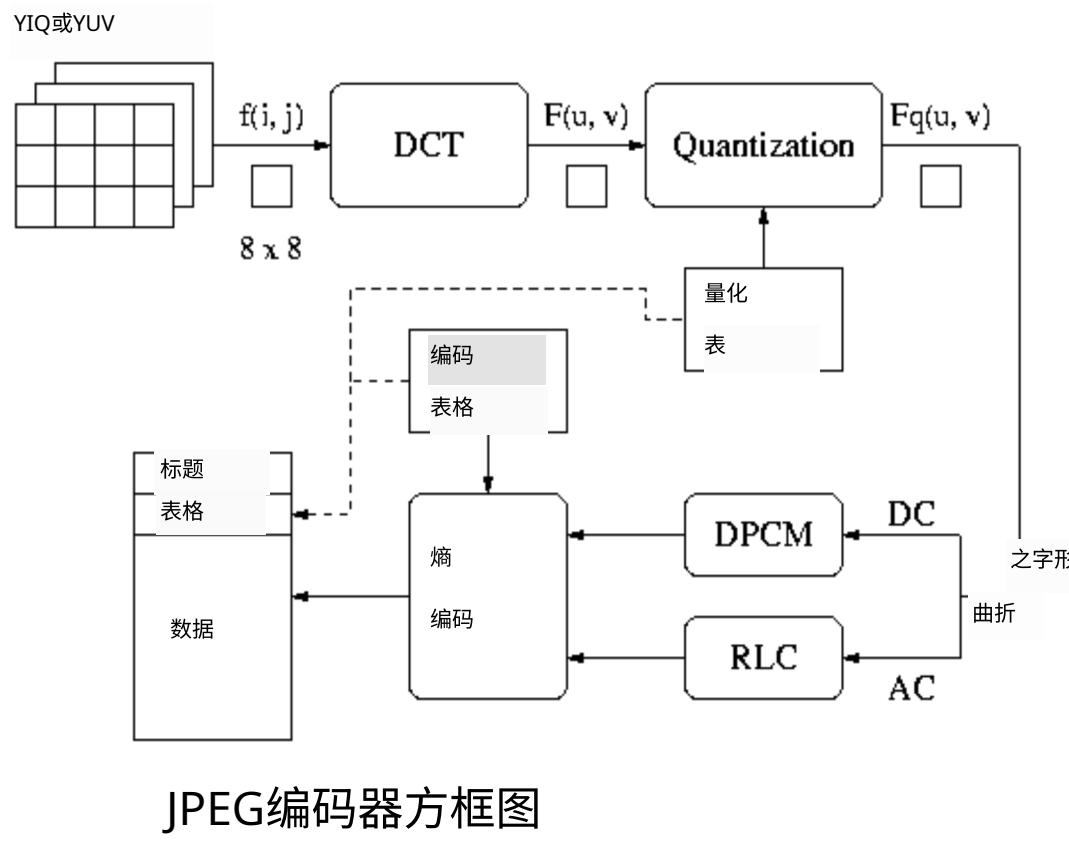
1.1 JPEG图像压缩的主要步骤

- (1) 将RGB转换为YIQ或YUV并对子采样颜色
- (2) 对图像块执行离散余弦变换
- (3) 应用量化
- (4) 之字形排序
- (5) 对直流系数进行差分脉冲编码调制
- (6) 对交流系数进行游程编码
- (7) 执行熵编码

多媒体基础 - 图像压缩标准（2025年春季）

8

1.1 JPEG图像压缩的主要步骤

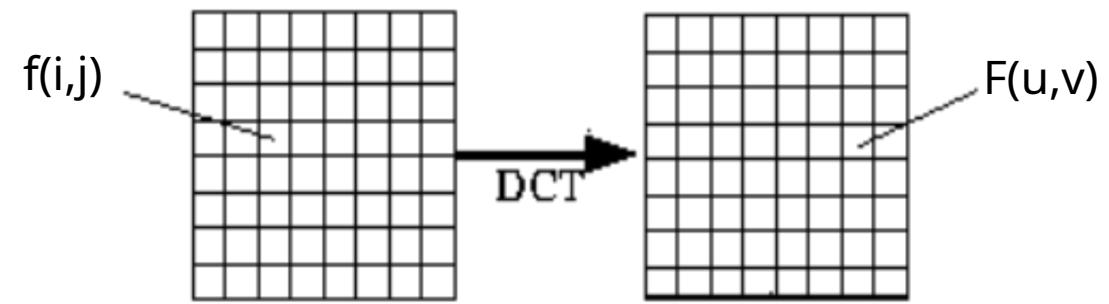


JPEG编码器方框图

1.1 主要步骤：离散余弦变换

离散余弦变换 (Discrete Cosine Transformation)

每个图像被划分为 8×8 个块。对每个块图像 $f(i,j)$ 应用二维离散余弦变换，输出为每个块的离散余弦变换系数 $F(u,v)$ 。



1.1 主要步骤：离散余弦变换 (DCT)

- 为什么块大小是 8×8 ？
在准确性和计算量之间进行权衡
- 去除块状伪影是研究人员关注的一个重要问题

然而，使用分块会使每个块与其相邻上下文隔离开来。这就是为什么当用户指定高压缩比时，JPEG图像看起来会有锯齿感（“块状感”）。

1.1 主要步骤：量化

$$\hat{F}(u,v) = \text{round}\left(\frac{F(u,v)}{Q(u,v)}\right) \quad (9.1)$$

$\hat{F}(u,v)$ 表示一个DCT系数， $Q(u,v)$ 是“量化矩阵”的一个元素， $\hat{F}(u,v)$ 表示JPEG将在后续熵编码中使用的量化DCT系数。

量化步骤是JPEG压缩中产生损失的主要原因。

$Q(u,v)$ 的元素值往往在右下角更大。这旨在在较高的空间频率上引入更多损失——这一做法得到了观察结果1和2的支持。

表9.1和表9.2展示了通过心理物理学研究得到的默认 $Q(u,v)$ 值

其目标是在使JPEG图像的感知损失最小化的同时最大化压缩比。 多媒体基础 - 图像压缩标准 (2025年春季)

1.1 主要步骤：量化

表9.1 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9.2 色度量化表

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

1.1 主要步骤：量化



200	202	189	188	189	175	175	175	515	65	-12	4	1	2	-8	5
200	203	198	188	189	182	178	175	-16	3	2	0	0	-11	-2	3
203	200	200	195	200	187	185	175	-12	6	11	-1	3	0	1	-2
200	200	200	200	197	187	187	187	-8	3	-4	2	-2	-3	-5	-2
200	205	200	200	195	188	187	175	0	-2	7	-5	4	0	-1	-4
200	200	200	200	200	190	187	175	0	-3	-1	0	4	1	-1	0
205	200	199	200	191	187	187	17	5	3	-2	-3	3	-1	-1	3
210	200	200	200	188	185	187	186	-2	5	-2	4	-2	2	-3	0

$f(i,i)$
图9.2：平滑图像块的JPEG压缩。

1.1 主要步骤：量化

32	6	-1	0	0	0	0	0	512	66	-10	0	0	0	0	0
-1	0	0	0	0	0	0	0	-12	0	0	0	0	0	0	0
-1	0	1	0	0	0	0	0	-14	0	16	0	0	0	0	0
-1	0	0	0	0	0	0	0	-14	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	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0

$\hat{F}(u,v)$

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

$\tilde{f}(i,j) = f(i,j) - \hat{F}(i,j)$

图9.2 (续)：平滑图像块的JPEG压缩。

1.1 主要步骤：量化



70	70	100	70	87	87	150	187	-80	-40	89	-73	44	32	53	-3
85	100	96	79	87	154	87	113	-135	-59	-26	6	14	-3	-13	-28
100	85	116	79	70	87	86	196	47	-76	66	-3	-108	-78	33	59
136	69	87	200	79	71	117	96	-2	10	-18	0	33	11	-21	1
161	70	87	200	103	71	96	113	-1	-9	-22	8	32	65	-36	-1
161	123	147	133	113	85	161</									

1.1 主要步骤：量化

$\hat{F}(u, v)$	$\tilde{F}(u, v)$
-5 -4 9 -5 2 1 1 0	-80 -44 90 -80 48 40 51 0
-11 -5 -2 0 1 0 0 -1	-132 -60 -28 0 26 0 0 -55
3 -6 4 0 -3 -1 0 1	42 -78 64 0 -120 -57 0 56
0 1 -1 0 1 0 0 0	0 17 -22 0 51 0 0 0
0 0 -1 0 0 1 0 0	0 0 -37 0 0 109 0 0
0 -1 1 -1 0 0 0 0	0 -35 55 -64 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 0 0 0 0 0

$\tilde{f}(i, j) = f(i, j) - \tilde{F}(i, j)$

1.1 主要步骤：量化

• 结论：

- 减少所需的总比特数
- 信息损失的主要来源
- 为快速变化的图像区域引入更多损失

图9.3 (续): 纹理图像块的JPEG压缩。多

媒体基础 - 图像压缩标准 (2025年春季)

17

Fundamentals of Multimedia -- Image Compression Standards (2025 Spring)

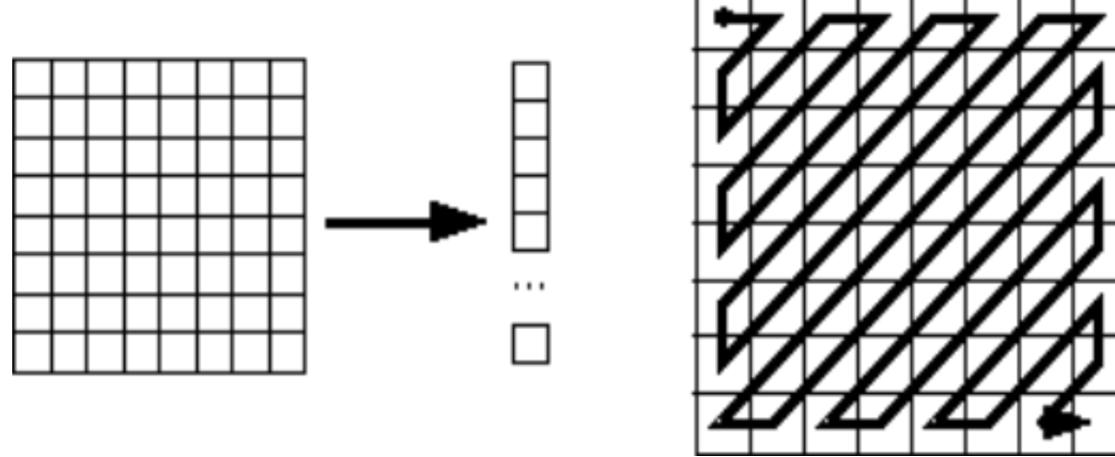
18

1.1 主要步骤：之字形扫描

- 将 8×8 矩阵转换为 64 维向量

- 低频分量位于向量的前部

- 高频分量位于后部



1.1 主要步骤：对交流系数进行游程编码

- 1×64 大小的向量包含长游程的零

- 游程编码 (Run-length Coding):

- (跳过数量, 值)

- 跳过数量: 零的个数, 值: 下一个非零值

- (0,0): 块的结束

(32, 6, -1, -1, 0, -1, 0, 0, 0, -1, 0, 0, 1, 0, 0, ..., 0)

DC

(0, 6) (0, -1) (0, -1) (1, -1) (3, -1) (2, 1) (0, 0)

多媒体基础——图像压缩标准 (2025年春季)

19

20

多媒体基础 - 图像压缩标准 (2025年春季)

1.1 主要步骤：直流系数的差分脉冲编码调制系数

- 直流系数与交流系数分开编码。

- 不同块的直流系数值可能很大且不同

- 直流系数不太可能在短距离内发生急剧变化

- 这使得差分脉冲编码调制 (DPCM) 成为对直流系数进行编码的理想方案

- JPEG 中对直流系数的差分脉冲编码调制是一次性对整个图像进行的

- 对与前一个 8×8 块的直流系数的差值进行编码

- 差分脉冲编码调制 (DPCM)

$$d_i = DC_{i+1} - DC_i$$

$$d_0 = DC_0$$

$$150, 155, 149, 152, 144 \Rightarrow 150, 5, -6, 3, -8$$

多媒体基础——图像压缩标准 (2025年春季)

21

22

多媒体基础 - 图像压缩标准 (2025年春季)

1.1 主要步骤：熵编码 (1)

- 直流分量由一对符号表示

- (大小, 幅值)

- 大小表示表示该系数所需的位数 - 幅值包含实际的位

尺寸幅度

1	-1, 1
2	-3, -2, 2, 3
3	-7..-4, 4..7
4	-15...8, 8..15
...	...
10-1023	..-512, 512..1023

- 例如: $(150, 5, -6, 3, -8) \rightarrow (8, 10010110), (3, 101), (3, 001), (2, 11), (4, 0111)$

1.1 主要步骤：熵编码 (1)

- 例如: $(150, 5, -6, 3, -8) \rightarrow (8, 10010110), (3, 101), (3, 001), (2, 11), (4, 0111)$

- 尺寸采用霍夫曼编码

- 幅度不采用霍夫曼编码

- 霍夫曼表可以自定义并存储在图像头中, 否则使用默认的霍夫曼表。

- 交流系数 - 两个符号: - 符号

- _1: (游程长度, 尺寸)- 符号_2:

- (幅度)

- 符号_1采用霍夫曼编码, 符号_2不采用多媒体基础 - 图像压缩标准 (2025年春季)

1.2 JPEG模式

- 顺序模式
- 渐进模式。
- 分层模式。
- 无损模式

1.2 JPEG模式：顺序模式

•默认JPEG模式

- 每张图像按从左到右、从上到下的顺序进行单次扫描编码

•“动态JPEG”视频编码采用基线顺序JPEG

1.2 JPEG模式：渐进式 (1)

渐进式JPEG能快速提供低质量版本的图像，随后再提供更高质量的图像。

1. 频谱选择：利用离散余弦变换（DCT）系数的“频谱”（空间频率谱）特性：较高的交流分量提供细节信息。

扫描1：对直流分量和前几个交流分量进行编码，例如，交流分量1、交流分量2。扫描2：对更多的交流分量进行编码，例如，交流分量3、交流分量4、交流分量5。

扫描k：对最后几个交流分量进行编码，例如，交流分量61、交流分量62、交流分量63。

1.2 JPEG模式：渐进式 (2)

2. 逐次逼近：不是逐步对频谱带进行编码，而是同时对所有离散余弦变换系数进行编码，但首先编码其最高有效位（MSB）。

扫描1：对前几个最高有效位进行编码，例如，第7位、第6位、第5位、第4位。扫描2：对更多的次高有效位进行编码，例如，第3位。

...

扫描m：对最低有效位（LSB），即第0位进行编码。

1.2 JPEG模式：分层模式(1)

•最低分辨率的编码图像基本上是经过压缩的低通滤波图像，而分辨率依次提高的图像则提供了额外的细节（与低分辨率图像的差异）。

•与渐进式JPEG类似，分层JPEG图像可以通过多次传输逐步提高质量。

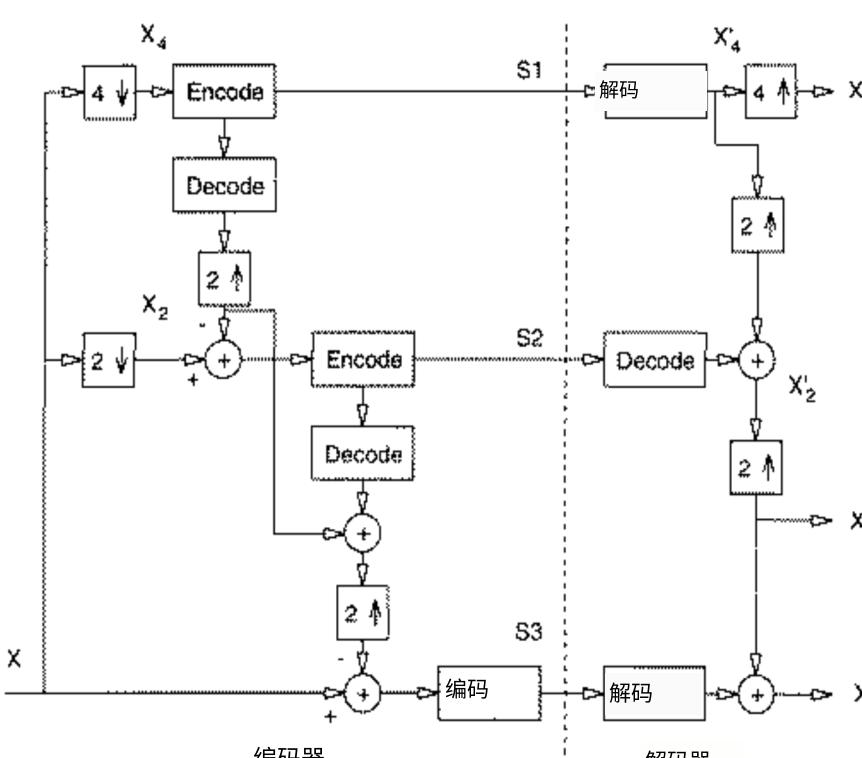
1.2 JPEG模式：分层模式(2)

1. 降低图像分辨率：

将输入图像 f (e.g., 512×512) 在每个维度上的分辨率降低为原来的二分之一，以获得 f_2 (例如， 256×256)。重复此操作以获得 f_4 (例如， 128×128)。2. 压缩低分辨率图像 f_4 ：使用任何其他JPEG方法（例如，顺序式、渐进式）对 f_d 进行编码，以获得 F_d 。3. 压缩差值图像 d_2 ：(a) 对 F_4 进行解码以获得 \tilde{f}_4 。使用任何插值方法将 \tilde{f}_4 扩展到与 f_2 相同的分辨率，并将其称为 $E(\tilde{f}_4)$ 。(b) 使用任何其他JPEG方法（例如，顺序式、渐进式）对差值 $d_2 = f_2 - E(\tilde{f}_4)$ 进行编码，以生成 D_2 。4. 压缩差值图像 d_1 ：(a) 对 D_2 进行解码以获得 \tilde{d}_2 ；将其与 $E(\tilde{f}_4)$ 相加，得到 $\tilde{f}_2 = E(\tilde{f}_4) + \tilde{d}_2$ ，这是 f_2 经过压缩和解压缩后的版本。(b) 使用任何其他JPEG方法（例如，顺序式、渐进式）对差值 $d_1 = f_2 - E(\tilde{f}_2)$ 进行编码，以生成 D_1 。

1.2 JPEG模式：分层模式(3)

以多种不同分辨率的层级结构对图像进行编码



1.2 JPEG模式：分层模式(4)

1. 对编码后的低分辨率图像 F_4 进行解压缩：- 使用与编码器中相同的JPEG方法对 F_4 进行解码，以获得 \tilde{f}_4 。

2. 恢复中间分辨率的图像 \tilde{f}_2 ：

• 使用 $E(\tilde{f}_4) + \tilde{d}_2$ 来获取 \tilde{f}_2 。

3. 以原始分辨率恢复图像 \tilde{f} ：

• 使用 $E(\tilde{f}_2) + \tilde{d}_1$ 来获取 \tilde{f} 。

1.2 JPEG模式：无损

•JPEG的一种特殊情况，其图像质量确实没有损失

•它不使用基于离散余弦变换（DCT）的方法！相反，它使用预测（差分编码）方法

•它很少被使用，因为与其他有损模式相比，其压缩比非常低

1.3 JPEG比特流概览

•帧头

- 样本精度（每像素位数） - 图像的（宽度，高度） - 分量数量 - 唯一ID（每个分量）
- 水平/垂直采样因子（每个分量） - 要使用的量化表（每个分量）

•扫描头

- 扫描中的组件数量 - 组件ID（每个组件） - 哈夫曼表（每个组件）

2.1 为何选择JPEG 2000

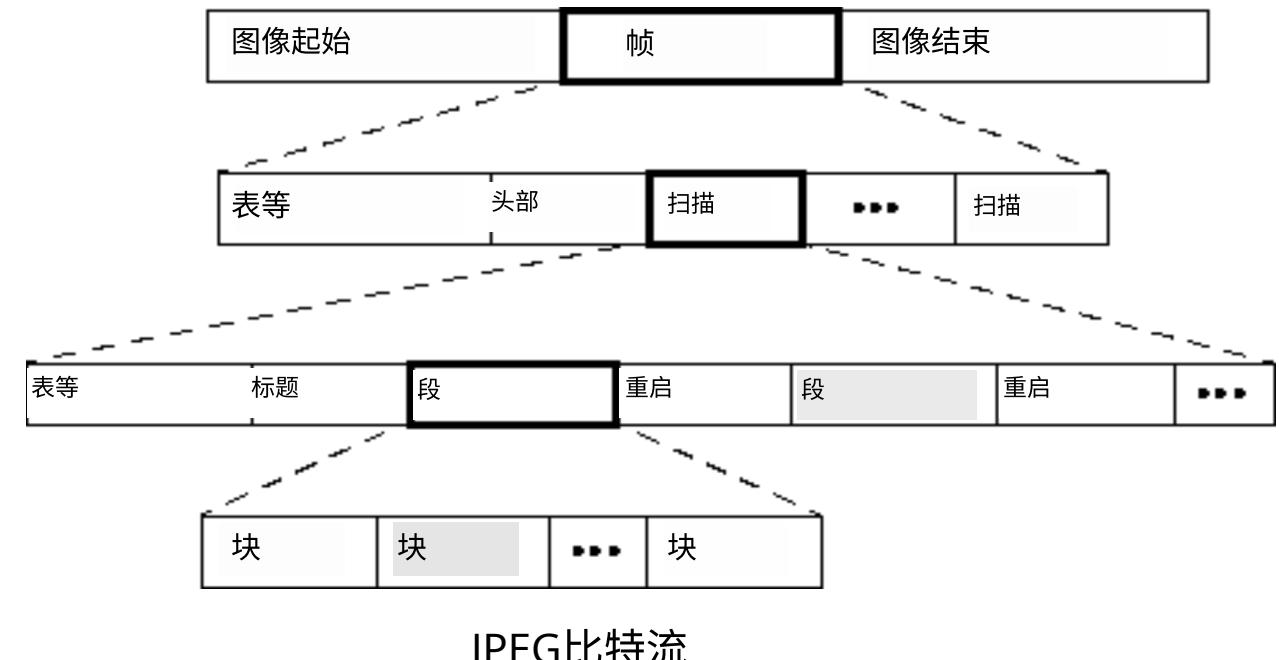
•新一代图像压缩标准 - 在同一方案中同时提供无损压缩和有损压缩 - 低比特率压缩下具有出色的率失真性能 - 感兴趣区域（ROI）编码 - 大图像 - 单一解压缩架构 - 噪杂环境中的传输 - 渐进式传输 - 计算机生成图像 - 复合文档

2.3 感兴趣区域编码



图9.11：使用圆形感兴趣区域（ROI）对图像进行感兴趣区域编码。（a）0.4比特/像素，（b）0.5比特/像素，（c）0.6比特/像素，（d）0.7比特/像素。

1.3 一瞥JPEG比特流



“帧”是一幅图像，“扫描”是对像素（例如红色分量）的一次遍历，“段”是一组块，“块”是一个 8×8 的像素组。

2. JPEG2000标准(*)

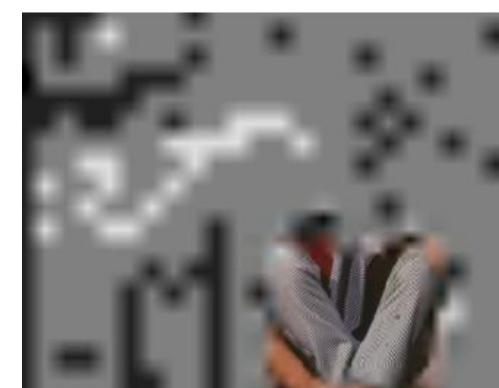
2.3 感兴趣区域编码

•目标：

- 图像的特定区域可能包含重要信息，因此应比其他区域以更高的质量进行编码。



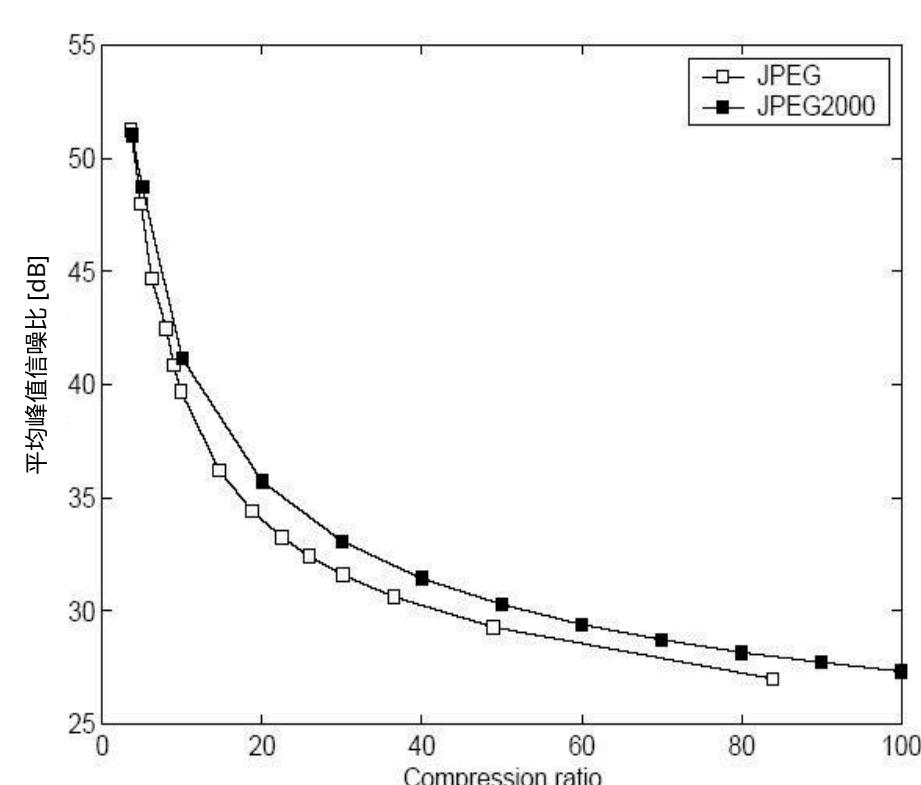
1.0比特/像素



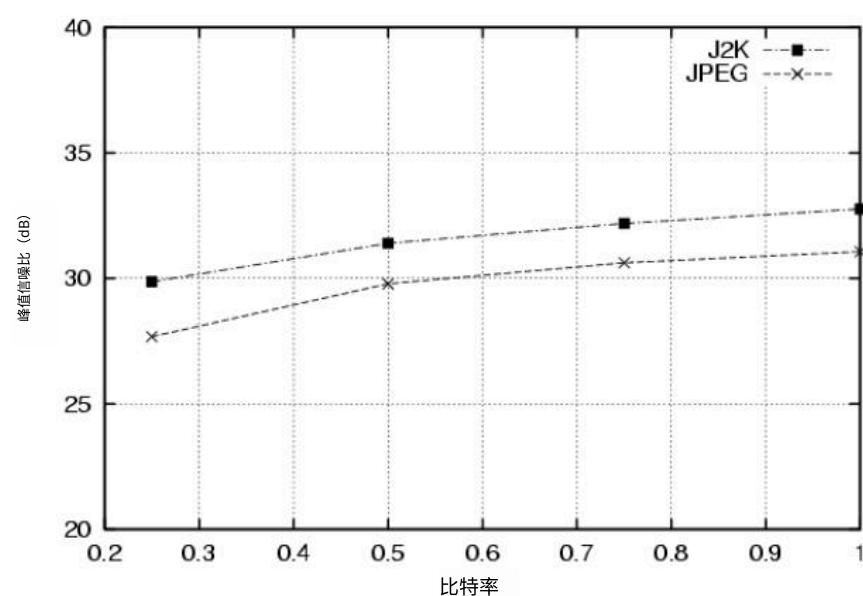
0.5比特/像素

（感兴趣区域）可以比图像的其余部分以更高的质量进行编码

2.4 JPEG和JPEG2000的比较



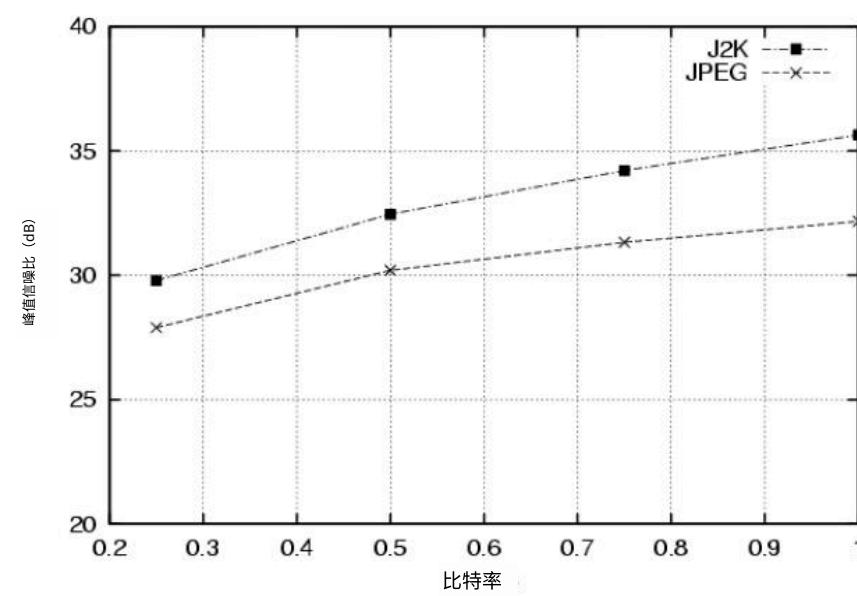
2.4 JPEG与JPEG2000的比较



(a)

图9.12：JPEG和JPEG2000在不同图像类型上的性能比较。(a):
自然图像。

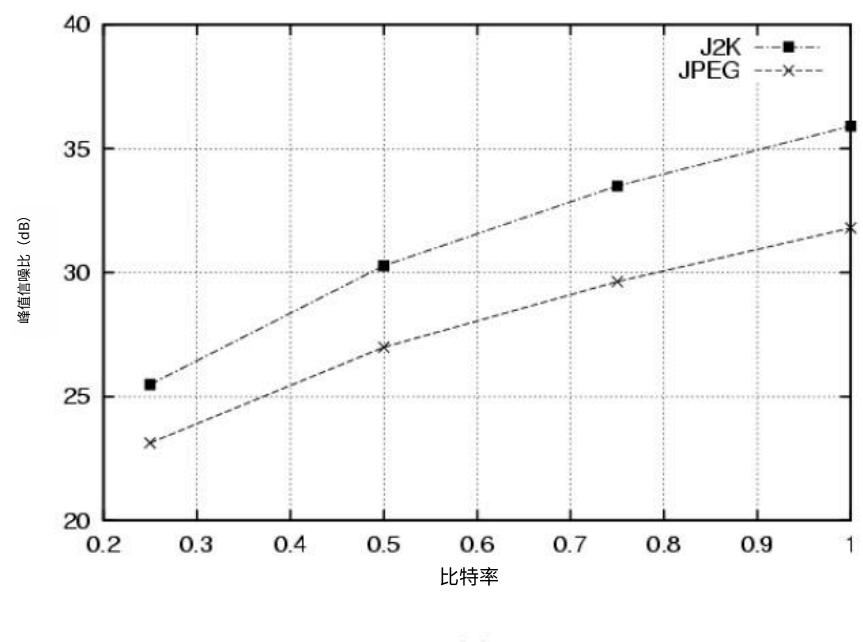
2.4 JPEG与JPEG2000的比较



(b)

图9.12：JPEG和JPEG2000在不同图像类型上的性能比较。(b):
计算机生成的图像。

2.4 JPEG与JPEG2000的比较



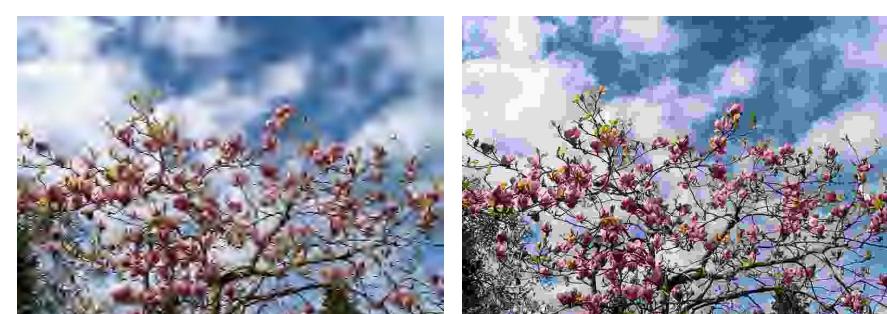
(c)

图9.12：JPEG和JPEG2000在不同图像类型上的性能比较。(c):
医学图像。

2.4 JPEG与JPEG2000的比较



(a)



(b)

图9.13 (续): JPEG与JPEG2000的比较。(b) 以0.75比特/像素压缩的JPEG (左) 和JPEG2000 (右) 图像

以0.25比特/像素压缩的JPEG (左) 和JPEG2000 (右) 图像。



(a)

图9.13: JPEG和JPEG2000的比较。(a) 原始图像。

结束

谢谢!

邮箱: junx@cs.zju.edu.cn