

提纲



- 引言
- 基础知识
 - 图像冗余
 - 图像信息的度量
 - 保真度准则
 - 图像压缩模型
- 基本的压缩方法
 - 霍夫曼编码
 - 行程编码
 - 基于符号的编码
- 数字图像水印



度量图像的信息



- 表达一幅图像最少的比特数是多少？(无损)
- 信息论 (Information Theory)
 - 信息的产生用概率过程来建模
 - 随机事件 E 蕴含的信息

$$I(E) = \log \frac{1}{P(E)} = -\log P(E)$$

- $P(E)$ 表示 E 发生的概率
- $P(E) = 1, I(E) = 0$
- 对数的底数决定了度量信息的单位
 - 底数为 m ，单位是 m -ary；2对应于比特；

$$P(E) = \frac{1}{2}, I(E) = -\log_2 \frac{1}{2} = 1$$



度量图像的信息



- 信源
 - 生成统计上独立的随机事件
 - 取值 $\{a_1, a_2, \dots, a_J\}$, 概率 $\{P(a_1), P(a_2), \dots, P(a_J)\}$
- 信源的熵 (Entropy)

$$H = - \sum_{j=1}^J P(a_j) \log P(a_j)$$

- 每个输出的平均信息量
- 信源符号： a_j
- 事件独立：0记忆信源





度量图像的信息

- 虚构的灰度信源
 - 输出灰度值，生成一幅图像
 - 用直方图估计每个符号（灰度）的概率
- 灰度信源的熵

$$\tilde{H} = - \sum_{k=0}^{L-1} p_r(r_k) \log_2 p_r(r_k)$$

- $p_r(r_k)$ 表示 r_k 出现的概率
- 每个灰度输出的平均信息
- 不可能使用长度少于 \tilde{H} 的编码

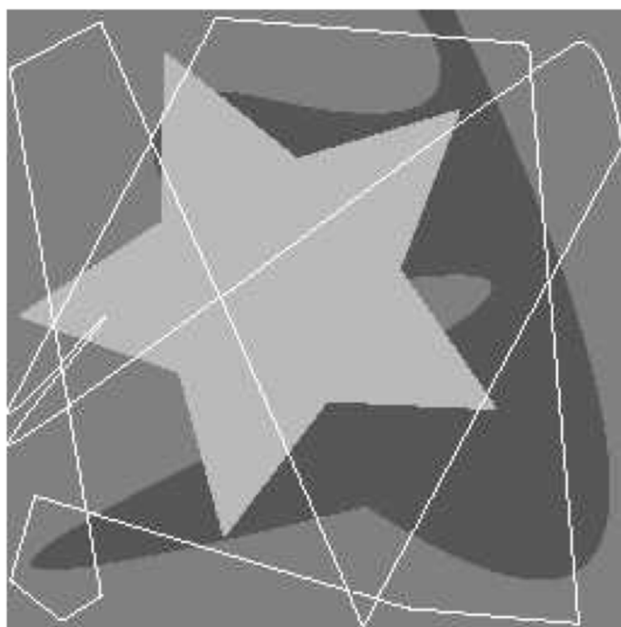


举例



- 图像的熵

$$\begin{aligned}\tilde{H} &= -[0.25 \log_2 0.25 + 0.47 \log_2 0.47 + 0.25 \log_2 0.25 + 0.03 \log_2 0.03] \\ &\approx -[0.25(-2) + 0.47(-1.09) + 0.25(-2) + 0.03(-5.06)] \\ &\approx 1.6614 \text{ bits/pixel}\end{aligned}$$



r_k	$p_r(r_k)$
$r_{87} = 87$	0.25
$r_{128} = 128$	0.47
$r_{186} = 186$	0.25
$r_{255} = 255$	0.03
$r_k \text{ for } k \neq 87, 128, 186, 255$	0

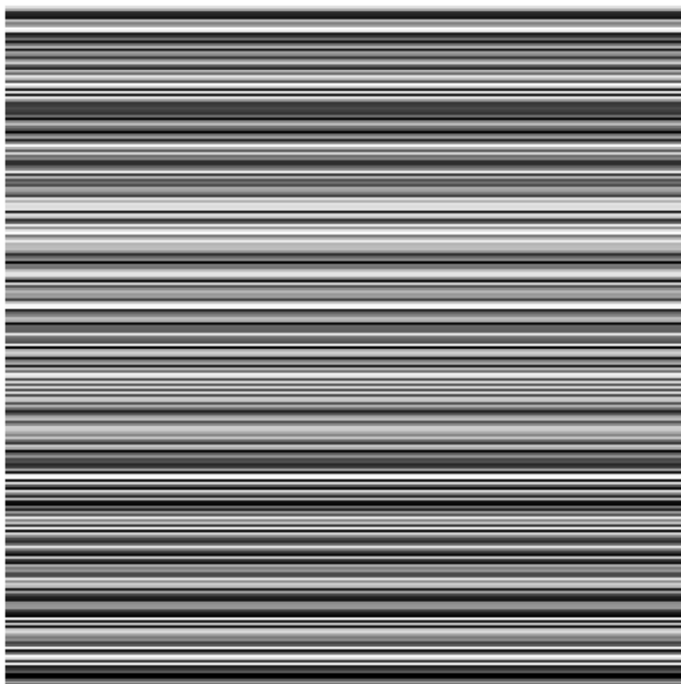


举例

- 图像的熵

均匀分布有
最大熵

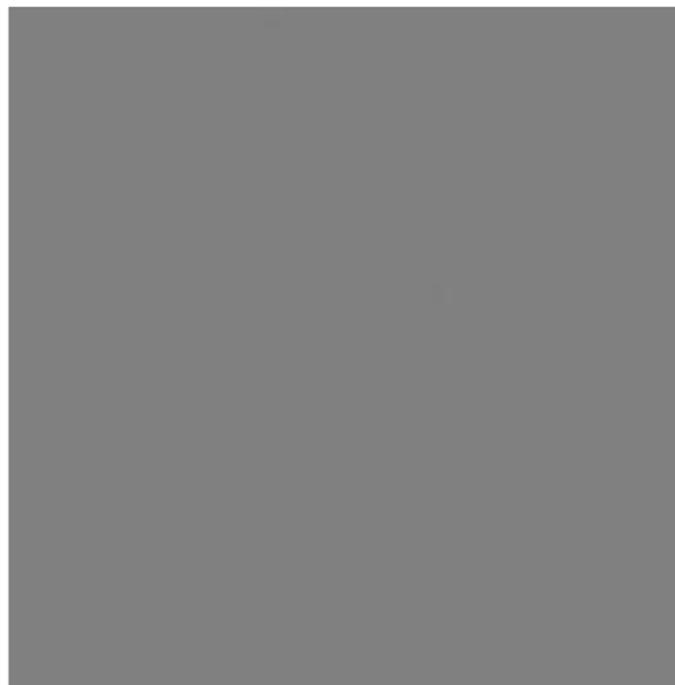
8比特



熵的数量和直观
感觉差异很大！

1.566比特

直观上
认为无信息





香农第一定理

- 无噪声编码定理
- 表示 n 个连续的符号

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left[\frac{L_{\text{avg},n}}{n} \right] = H$$

- $L_{\text{avg},n}$ 是表示 n 个符号的平均编码长度
- 每个符号的平均长度为 H
- 当图像的像素存在相关性
 - 该定理不再成立
 - 马尔科夫信源、有限记忆信源



提纲



- 引言
- 基础知识
 - 图像冗余
 - 图像信息的度量
 - 保真度准则
 - 图像压缩模型
- 基本的压缩方法
 - 霍夫曼编码
 - 行程编码
 - 基于符号的编码
- 数字图像水印





保真度准则

- 量化信息的损失

- 1. 客观保真度准则

- $f(x, y)$, 输入图像
- $\hat{f}(x, y)$, 压缩 , 解压缩之后的图像
- 误差

$$e(x, y) = \hat{f}(x, y) - f(x, y)$$

- 总误差

$$\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [\hat{f}(x, y) - f(x, y)]$$



保真度准则



1. 客观保真度准则

- 均方根误差 (root-mean-square error)

$$e_{\text{rms}} = \left[\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [\hat{f}(x, y) - f(x, y)]^2 \right]^{1/2}$$

- 均方信噪比 (mean-square signal-to-noise ratio)

$$\text{SNR}_{\text{ms}} = \frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \hat{f}(x, y)^2}{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [\hat{f}(x, y) - f(x, y)]^2}$$





保真度准则

2. 主观保真度准则

- 用户对解压缩后图像的主观评价

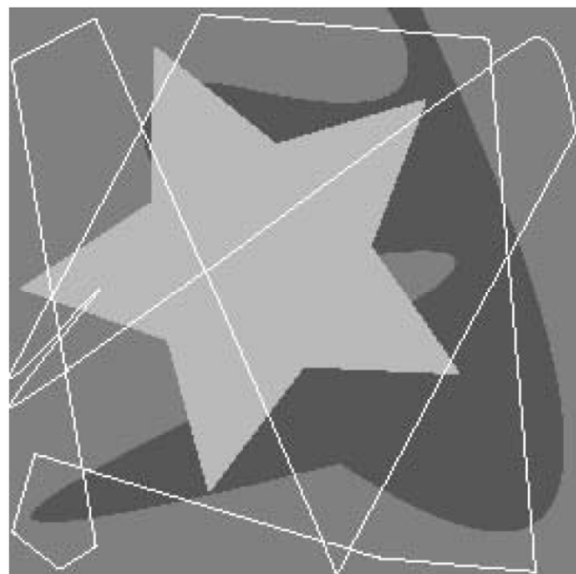
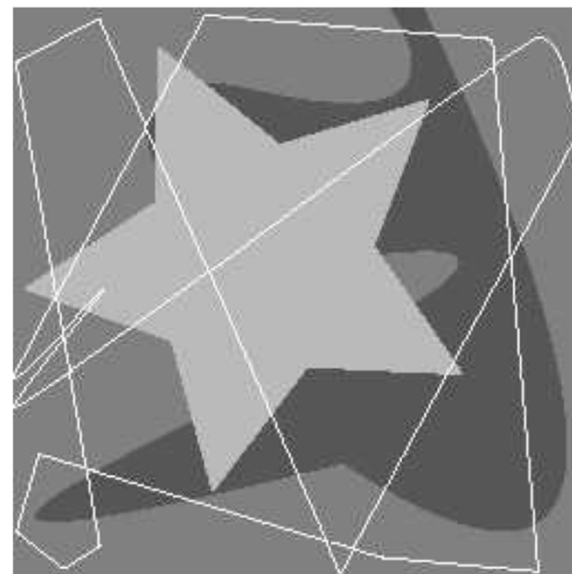
Value	Rating	Description
1	Excellent	An image of extremely high quality, as good as you could desire.
2	Fine	An image of high quality, providing enjoyable viewing. Interference is not objectionable.
3	Passable	An image of acceptable quality. Interference is not objectionable.
4	Marginal	An image of poor quality; you wish you could improve it. Interference is somewhat objectionable.
5	Inferior	A very poor image, but you could watch it. Objectionable interference is definitely present.
6	Unusable	An image so bad that you could not watch it.



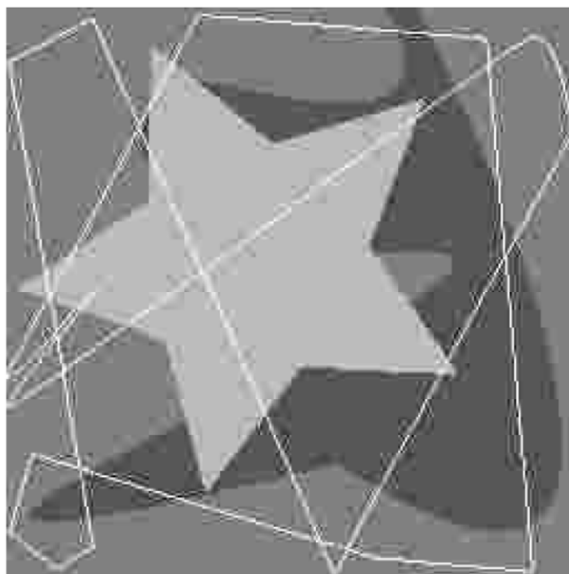
举例

- 三种近似

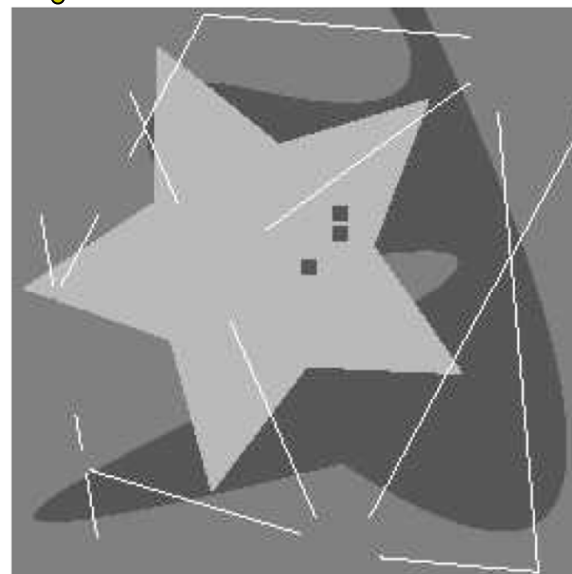
视觉上是质量最差的



均方根误差 5.17



15.67



14.17

主观差
客观好



提纲



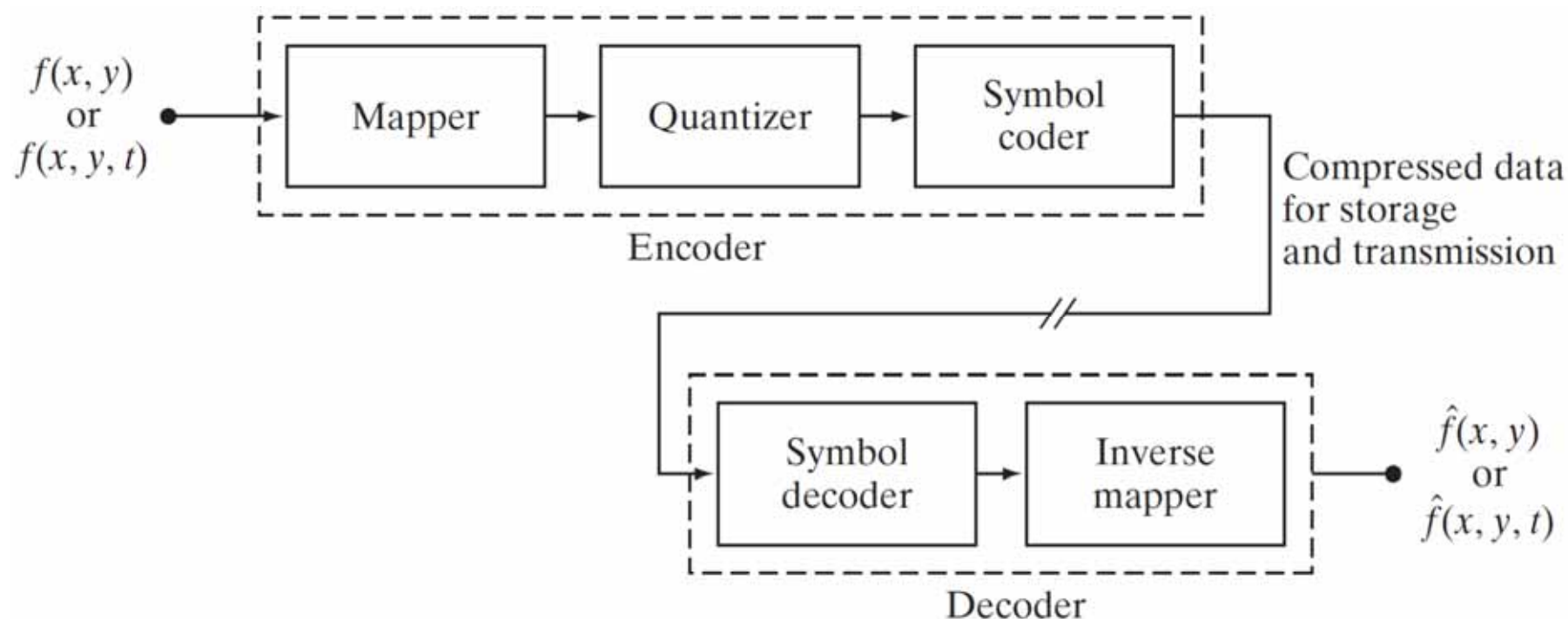
- 引言
- 基础知识
 - 图像冗余
 - 图像信息的度量
 - 保真度准则
 - 图像压缩模型
- 基本的压缩方法
 - 霍夫曼编码
 - 行程编码
 - 基于符号的编码
- 数字图像水印





图像压缩模型

- 编码器 (encoder)
- 解码器 (decoder)



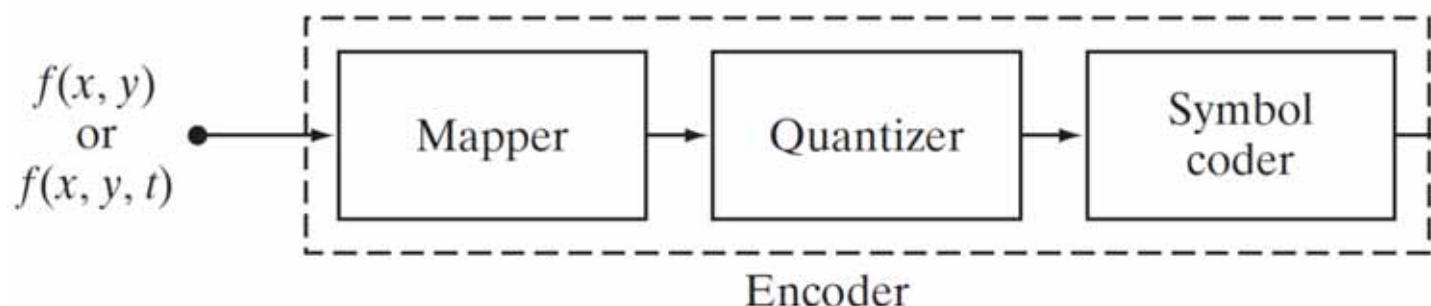
- 无损压缩、有损压缩



编码器



- 去掉三种冗余



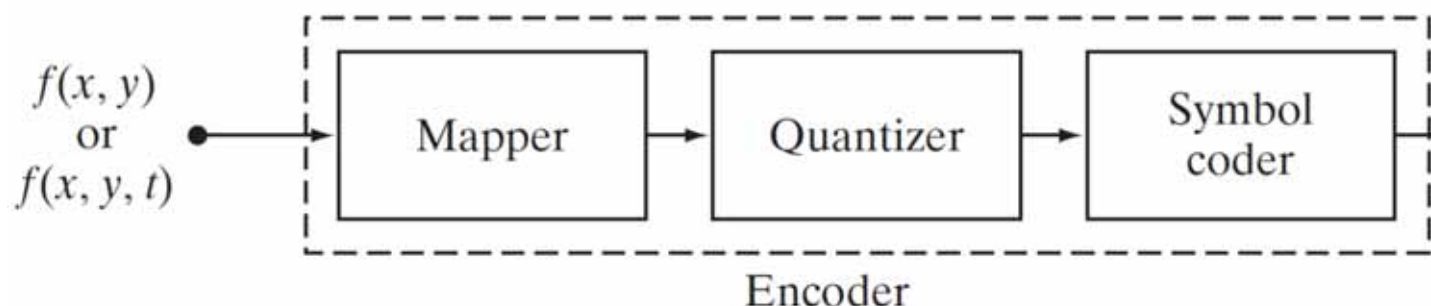
- 映射器 (Mapper)
 - 转换为便于去掉空间和时间冗余的形式
 - 可逆的，未必改变数据量
- 量化器 (quantizer)
 - 根据预设的保真度准则降低精度
 - 去除不相关的信息 (不可逆)



编码器



- 去掉三种冗余



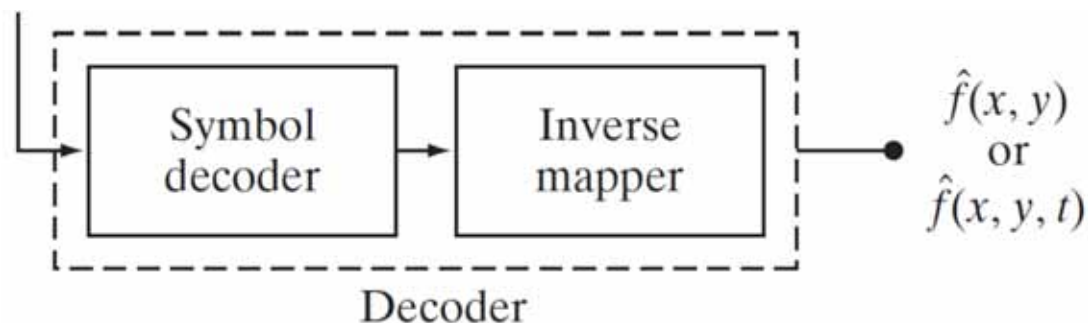
- 符号编码器 (symbol coder)
 - 生成定长编码表示量化器输出
 - 生成变长编码表示量化器输出
 - 最频繁的输出用最短的编码
 - 可逆的



解码器



- 恢复图像



- 符号解码器 (symbol decoder)
 - 符号编码器的逆操作
- 反映射器 (inverse mapper)
 - 映射器的逆操作

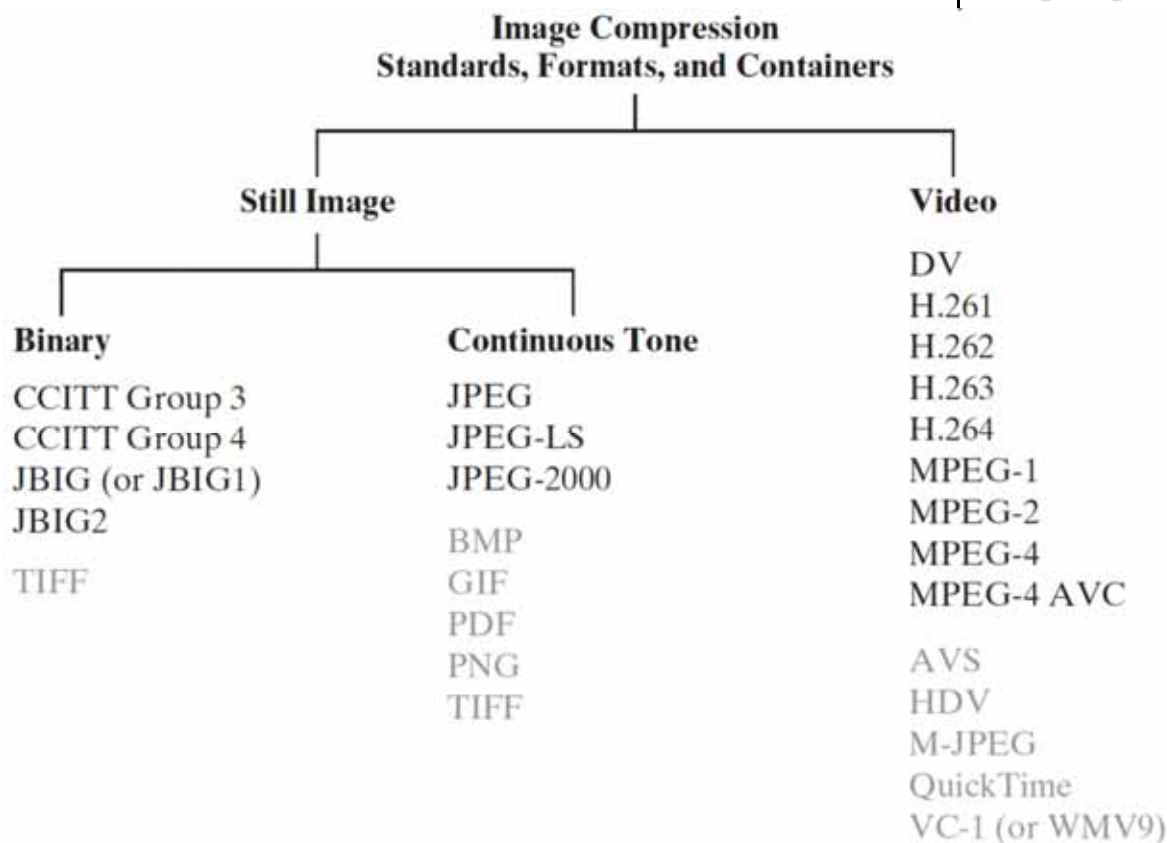
量化器有损, 无逆操作



图像格式和压缩标准



- 图像格式
 - 定义数据的排列方式、压缩的类型
- 压缩标准
 - 定义压缩和解压缩的流程



黑色为国际公认的标准



提纲



- 引言
- 基础知识
 - 图像冗余
 - 图像信息的度量
 - 保真度准则
 - 图像压缩模型
- 基本的压缩方法
 - 霍夫曼编码
 - 行程编码
 - 基于符号的编码
- 数字图像水印





霍夫曼编码

- 单独对信源符号编码
 - 霍夫曼编码是最短的编码
 - 对于固定的 n ，该编码是最优的
- 广泛应用于各种压缩标准中
 - CCITT
 - JBIG2
 - JPEG
 - MPEG-1,2,4
 - H.261, H.262, H.263, H.264
- 并不局限于灰度值
- 并不局限于数字图像处理



霍夫曼编码



1. 简化信源

- 对符号的概率进行排序，合并低概率符号
- 重复该过程，直到剩余两个符号

Original source		Source reduction				
Symbol	Probability	1	2	3	4	
a_2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6 0.4	
a_6	0.3	0.3	0.3	0.3		
a_1	0.1	0.1	0.2	0.3		
a_4	0.1	0.1				0.1
a_3	0.06	0.1	0.1			
a_5	0.04					



霍夫曼编码



2. 对简化后的信息源编码

- 从最小信源开始，返回到原信源
- 为每一个分支分配符号

熵是
2.14

Original source			Source reduction							
Symbol	Probability	Code	1		2		3		4	
a_2	0.4	1	0.4	1	0.4	1	0.4	1	0.6	0
a_6	0.3	00	0.3	00	0.3	00	0.3	00	0.4	1
a_1	0.1	011	0.1	011	0.2	010	0.3	01		
a_4	0.1	0100	0.1	0100	0.1	011				
a_3	0.06	01010	0.1	0101						
a_5	0.04	01011								

$$\begin{aligned}
 L_{\text{avg}} &= (0.4)(1) + (0.3)(2) + (0.1)(3) + (0.1)(4) + (0.06)(5) + (0.04)(5) \\
 &= 2.2 \text{ bits/pixel}
 \end{aligned}$$



霍夫曼编码的实现



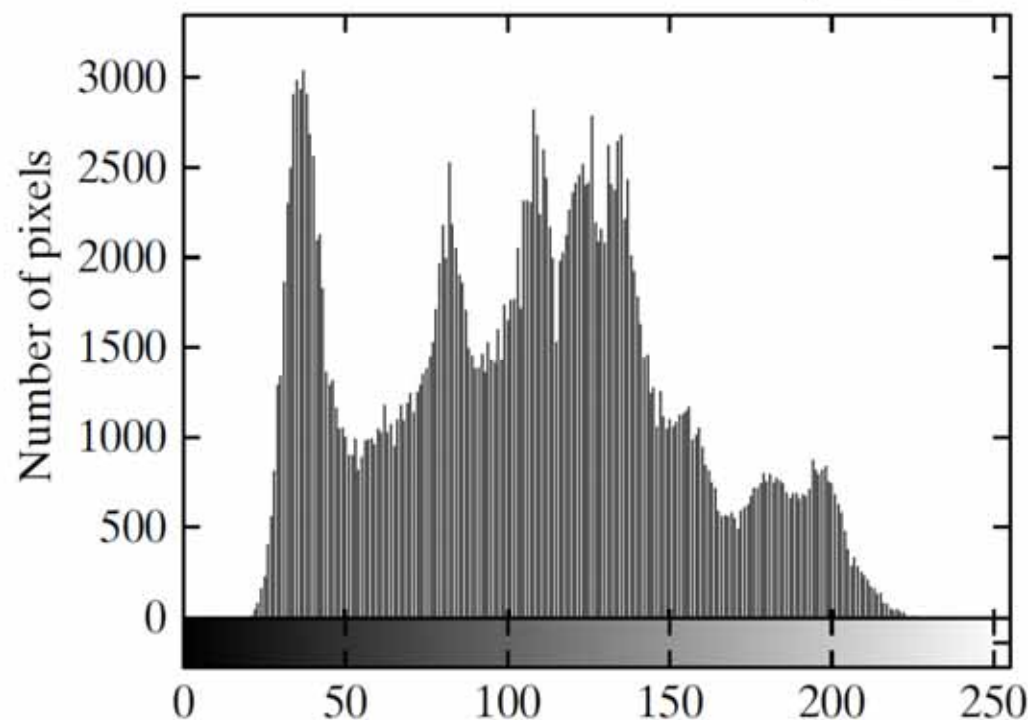
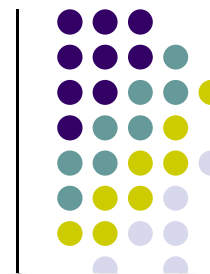
1. 构造霍夫曼编码
2. 查表法
 - 编码、解码
 - 瞬时性
 - 每个编码独立解码
 - 唯一可解码
 - 序列的解码方式唯一

Original source		
Symbol	Probability	Code
a_2	0.4	1
a_6	0.3	00
a_1	0.1	011
a_4	0.1	0100
a_3	0.06	01010
a_5	0.04	01011

010100111100 \longrightarrow $a_3 a_1 a_2 a_2 a_6$



举例



灰度直方图

- 霍夫曼编码：7.428比特
- 图像的熵：7.3838比特
- 压缩比： $C = 8/7.428 = 1.077$



提纲



- 引言
- 基础知识
 - 图像冗余
 - 图像信息的度量
 - 保真度准则
 - 图像压缩模型
- 基本的压缩方法
 - 霍夫曼编码
 - 行程编码
 - 基于符号的编码
- 数字图像水印





行程编码

- 行程对 (run-length pairs)
 - 灰度值，该灰度连续出现的次数
- 适用于存在连续灰度值的图像
 - 去除简单的空间冗余（连续的相同灰度）
 - 如果行程短或没有，导致数据增多
- 广泛应用于各种压缩标准中
 - CCITT
 - JBIG2
 - JPEG
 - M-JPEG
 - MPEG-1,2,4
 - BMP



BMP文件格式



- 编码模式 (encoded mode)

行程编码 两个字节：连续的像素数量、灰度值

- 绝对模式 (absolute mode)

- 第一个字节：0
- 第二个字节：4种情况

Second Byte Value	Condition
0	End of line
1	End of image
2	Move to a new position
3-255	Specify pixels individually

后面的两个
字节指明位
置偏移

后面是连续
的未压缩灰
度值



举例

- 未压缩的BMP文件
 - 263,244字节
- 压缩的BMP文件
 - 267,706字节
- 压缩率 $C = 0.98$



二值图像



- 行程编码特别有效
 - 容易出现连续的灰度值
- 只需要指明长度
 - 指明每一行开始的灰度值
 - 假设每行的初始灰度值总是1
- 对长度本身进行压缩
 - 霍夫曼编码



提纲



- 引言
- 基础知识
 - 图像冗余
 - 图像信息的度量
 - 保真度准则
 - 图像压缩模型
- 基本的压缩方法
 - 霍夫曼编码
 - 行程编码
 - 基于符号的编码
- 数字图像水印





基于符号的编码

- 符号
 - 图像中频繁出现的子图像
- 方法
 - 将图像表示为符号的集合
- 1. 符号字典
 - 存储符号的位图
- 2. 三元组集合
 - $\{(x_1, y_1, t_1), (x_2, y_2, t_2), \dots\}$
 - (x_i, y_i) 指明符号位置、 t_i 指明具体符号



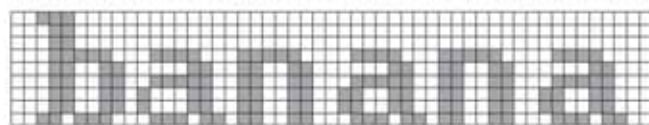
基于符号的编码

● 压缩原理

- 频繁出现的符号只存储了1次
- 适用于压缩扫描的文档

计算任务：

- 检测频繁符号
- 确定出现位置



Token	Symbol	Triplet
0		(0, 2, 0) (3, 10, 1) (3, 18, 2) (3, 26, 1) (3, 34, 2) (3, 42, 1)
1		
2		

$$9 \times 51 \times 1 = 459 \text{ 比特}$$

$$9 \times 7 + 6 \times 7 + 6 \times 6 \\ + 6 \times 3 \times 8 = 285 \text{ 比特}$$

$$\text{压缩比} : C = 1.61$$





JBIG2 压缩

- 压缩二值图像的国际标准
- 把图像分成3种类型的区域
 1. 字符组成的文本区域
 - 使用基于符号的编码
 - 每个大小写字母对应一个符号
 - a. 有损压缩（感知无损）
 - 忽略字典内符号和图像的差异
 - b. 无损压缩
 - 额外存储差异



JBIG2 压缩



2. 模式组成的半色调区域

- 类似于文本区域
- 符号：周期性的模式

3. 普通区域

- 用其他方式压缩
- 定义解码器特性
- 没有明确指明具体的编码器



举例

● JBIG2 压缩

压缩比
20.3

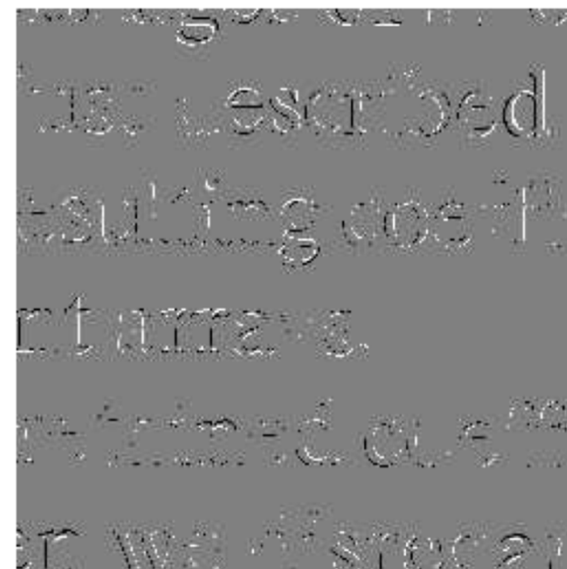
字母d

压缩比
27.7



Images of size
just described
resulting coefficient
arrays.
retained coefficients
when we disregard

Images of size
just described
resulting coefficient
arrays.
retained coefficients
when we disregard



原图
无损的压缩和解压缩

有损的压缩
感知无损

差异

