



第三章 信息隐藏

马晓静

lindahust@mail.hust.edu.cn



大纲

- 概述
- 图像信息隐藏
- 视频信息隐藏



视频信息隐藏

视频信息隐藏

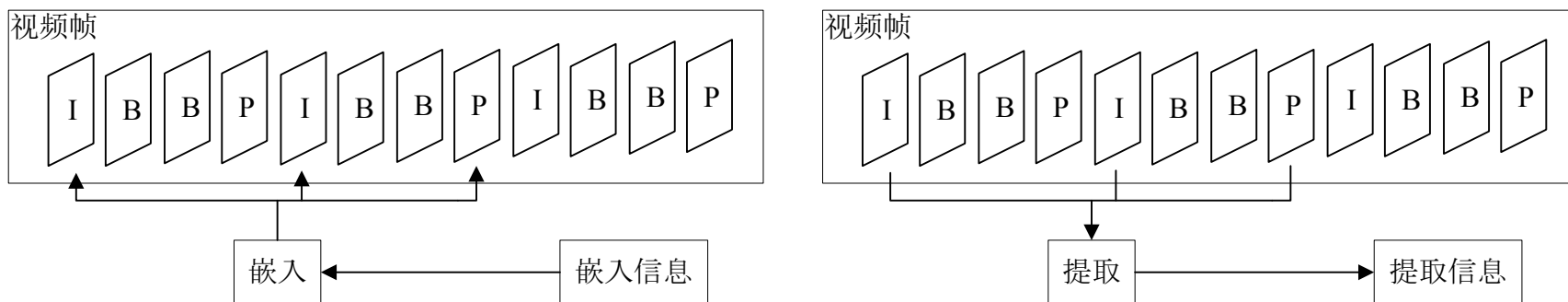
- 与静止图像隐藏技术在应用模式和设计方案上具有**相似性**
- 同时，也具**特殊性**
 - 视频序列为隐藏信息的嵌入提供了非常大的可用载体信号空间；同时由于视频信号由空间域扩展到了时间域，对人眼视觉特性的利用范围进一步扩大。
 - 由于数据量巨大，视频序列必须经过有损压缩编码才能进行存储或传输，因此嵌入其中的隐藏信息必须具有**抗击或适应视频压缩编码处理**的能力。另一方面，具体的视频编解码应用系统对信息隐藏和提取算法的实现提出了**实时性或准实时性的要求**以及其它一些约束条件（如**恒定码率**）。
 - 视频相邻帧之间的内容具有较高的相关性，导致视频信息隐藏可能遭遇到针对视频信息特性而产生的**新攻击模式**的挑战，如帧重组、帧删除、帧间统计平均和统计共谋等，因此要求视频信息隐藏技术应具备抵抗这些攻击的能力。

视频信息隐藏

- 要求
 - 不可感知性
 - 鲁棒性
 - 复杂度（提取和检测应达到实时）
 - 考虑视频的压缩编码
 - 不应增加视频码率
- 可嵌入位置？

DCT系数，运动向量，帧内预测模式，像素值？

分类



视频信息隐藏分类:

- 是否参照原始视频

- 盲提取
- 非盲提取

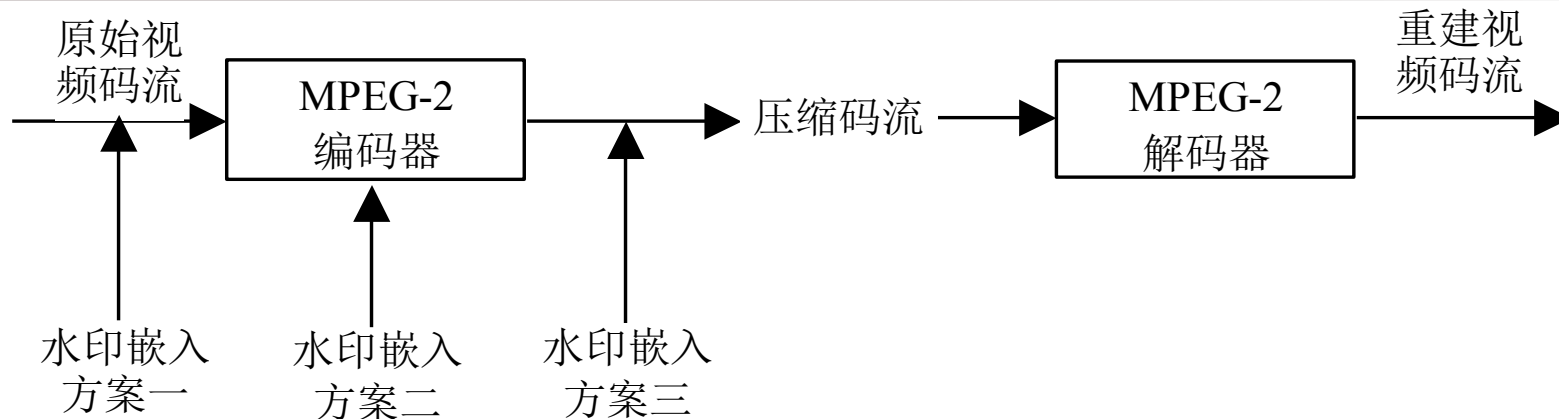
- 提取结果

- 检测
- 提取

- 嵌入时机

- 前置
- 内置
- 后置

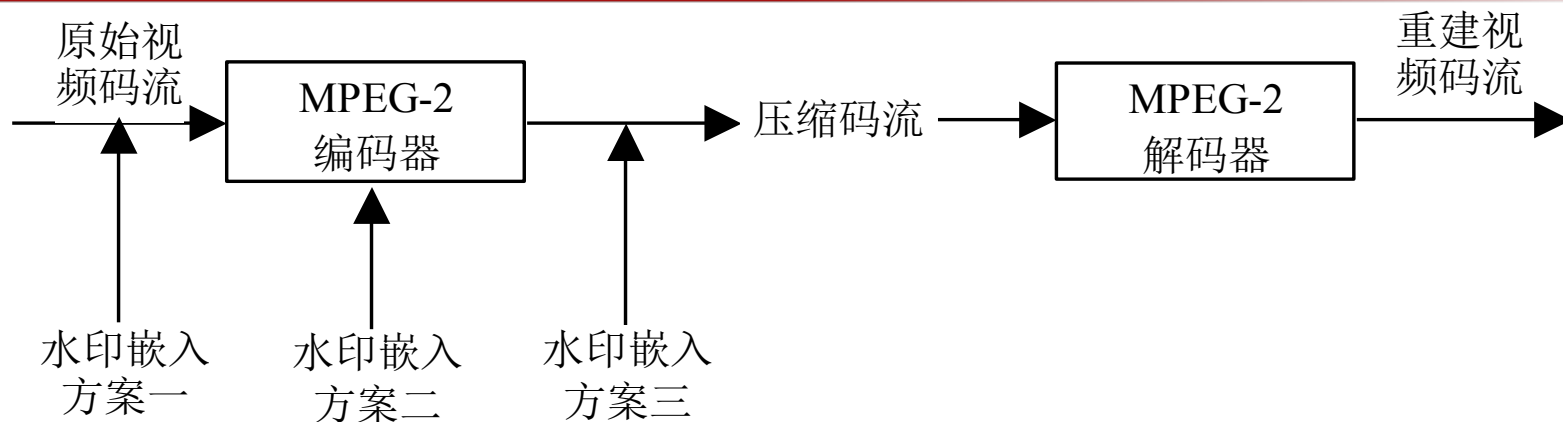
前置-内置-后置



- 直接嵌入到原始视频流中，
然后进行视频
压缩编码

- 水印嵌入方法多，原则上图像水印方案均可应用于此，算法成熟
- 压缩编码过程会造成部分秘密信息丢失。
- 对于已压缩的视频，需先解码，嵌入水印后，再重新编码，算法运算量大、效率低，防攻击能力差

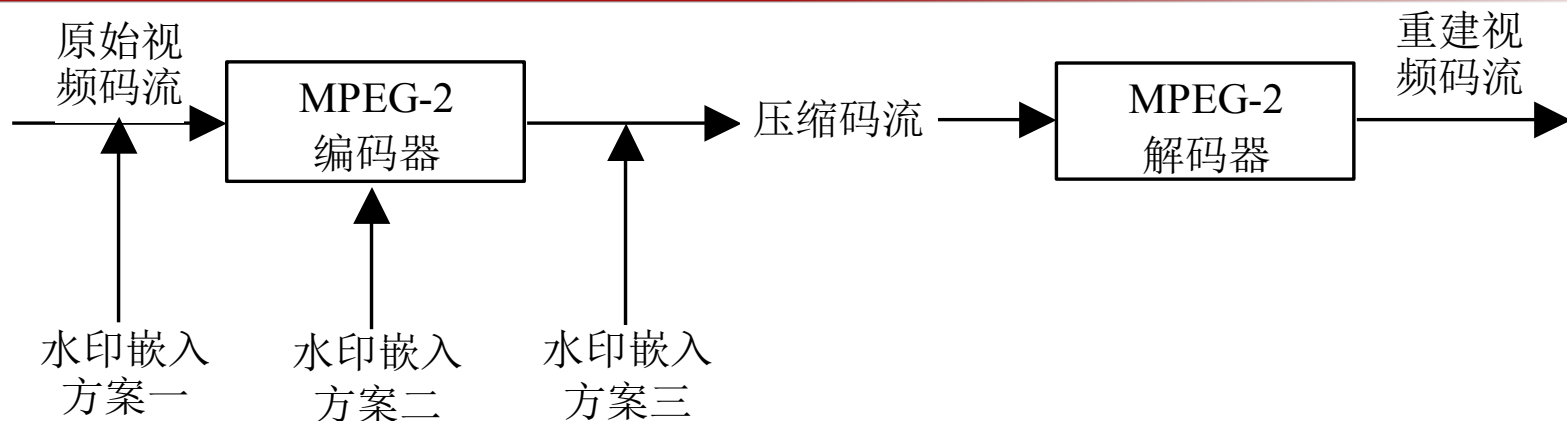
前置-内置-后置



- 与视频编码器结合，在视频编码过程中嵌入

- 通过修改变换域系数，能得到较好的视频质量和较强的水印抗攻击能力，同时不会增加太多的数据比特率。
- 如果信息嵌入位置在量化过程之前，则在视频部分压缩（特别是量化）过程，秘密信息会受到部分损失
- 若嵌入信息不经量化编码过程，则一般不会受到损失。
- 对于已压缩视频需要解压缩后再重新压缩。很慢。
- 修改编码器

前置-内置-后置



❑ 直接嵌入到压缩码流中

- 没有解码和再编码的过程，提高了水印嵌入和提取的效率
- 压缩比特率的限制限定了嵌入水印的数据量的大小，嵌入后效果可能有可察觉的变化
- 基本要求：(1) 水印信息的嵌入不能影响视频码流的正常解码和显示；(2) 嵌入水印的视频码流仍满足原始码流的码率约束条件；(3) 内嵌水印在体现视觉不易察觉性的同时，能够抗有损压缩编码。

后置嵌入

- 失真漂移
 - 影响现有方法的视觉效果，
 - 限制了嵌入容量
 - 限制了安全性与鲁棒性加固技术的发挥空间。
 - “瓶颈”

Intra-frame Prediction-Example

- MB(8,2), (0,0) .
- Prediction mode: 1 horizontal



1 (horizontal)

M	A	B	C	D	E	F	G	H
I								
J								
K								
L								

Pixel value

Predicted value

Residual

Quantized DCT coefficients

107, 116, 134, 143
92, 101, 119, 128
82, 91, 109, 118
80, 89, 107, 116

-

97, 97, 97, 97
82, 82, 82, 82
72, 72, 72, 72
70, 70, 70, 70

=

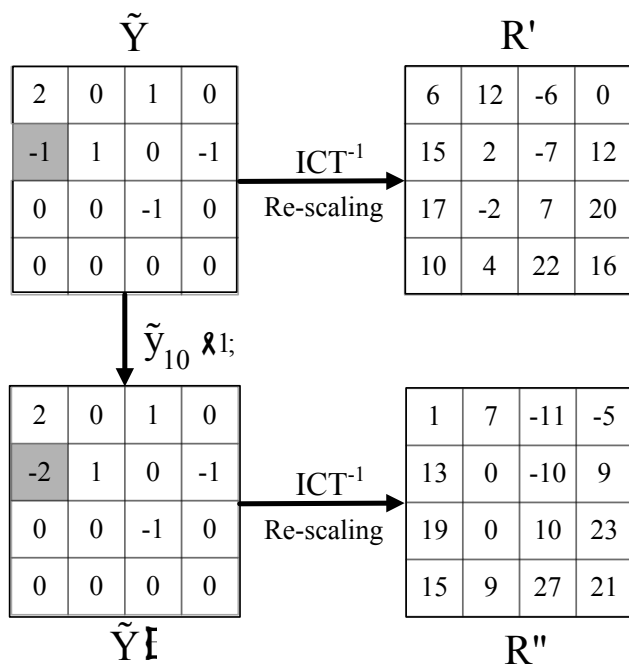
10, 19, 37, 46
10, 19, 37, 46
10, 19, 37, 46
10, 19, 37, 46

DCT, Q

4, -2, 0, 0
0, 0, 0, 0
0, 0, 0, 0
0, 0, 0, 0

失真漂移

- 来自视频序列Akiyo的一个真实 4×4 亮度残差块在修改量化DCT系数前后的像素值变化。

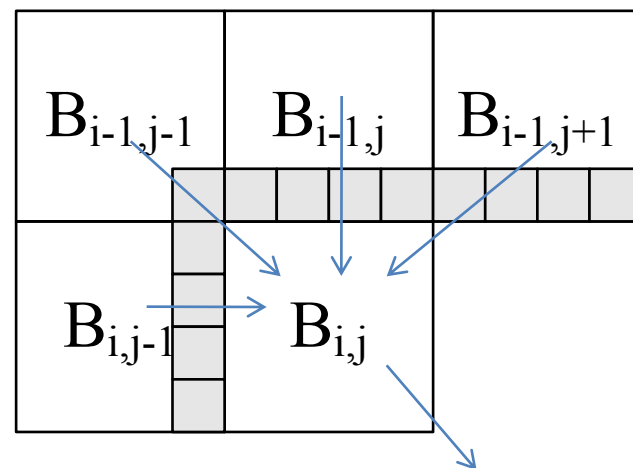
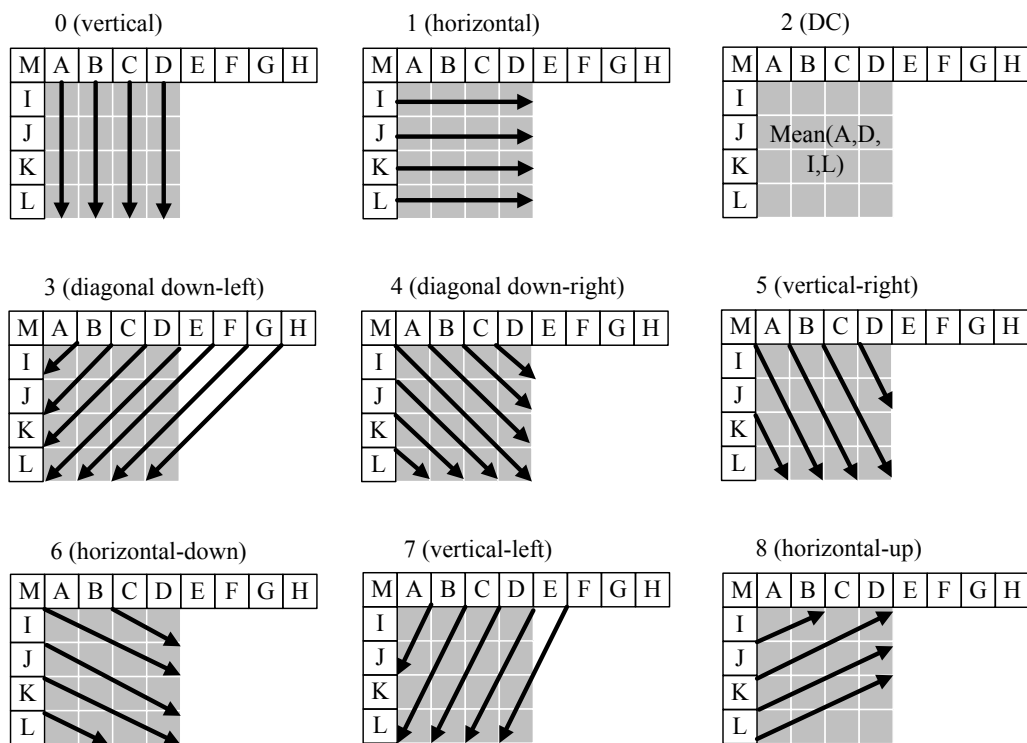


修改一个DCT系数，嵌入误差矩阵每个位置均具非零值。

算一算？

第7帧的第72个宏块中的第5个 4×4 亮度残差块

失真漂移-帧内预测



邻块嵌入信息带来的误差会通过帧内预测传递到 $B_{i,j}$ ，并累积起来。为什么？

帧内失真漂移-影响视觉效果

原始帧



38.9dB

嵌入帧



35.99dB



37.3dB

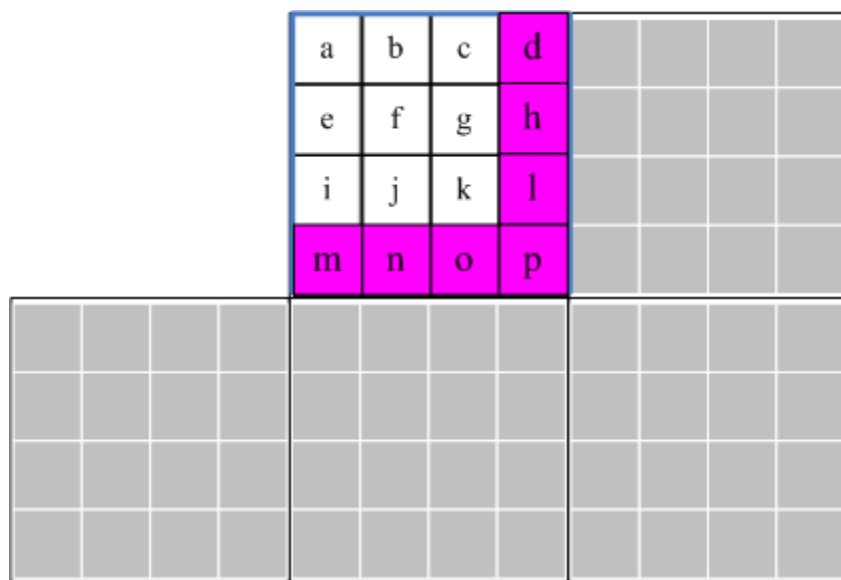


35.15dB

H.264帧内预测-关键像素

- **关键像素**：邻块帧内预测可能用到的**参考像素**。最右边一列与最下面一行。共**7**个像素。

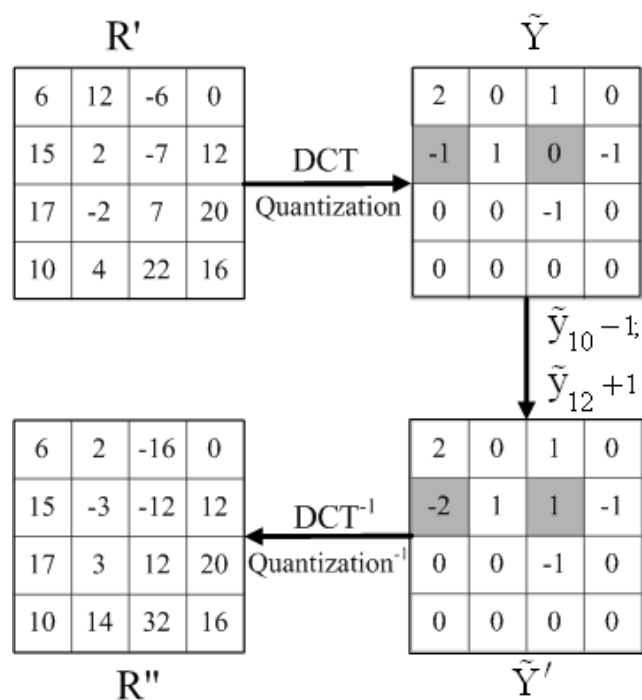
怎么办？



关键像素：
m,n,o,p,d,h,l

例

- 来自视频序列Akiyo的一个真实 4×4 亮度残差块在修改DCT系数前后的像素值变化。（VS）



根据系数耦合性关系修改DCT系数，
最右边一列像素嵌入误差为零。

算一算？

理论推导-误差矩阵

$$\Delta = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ t & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

修改一个DCT系数，嵌入误差矩阵每个位置均具非零值。

$$B = C_i^T (\Delta \times Qstep \times PF) C_i = \begin{bmatrix} \frac{abt.Qstep}{2} & \frac{abt.Qstep}{2} & \frac{abt.Qstep}{2} & \frac{abt.Qstep}{2} \\ \frac{abt.Qstep}{4} & \frac{abt.Qstep}{4} & \frac{abt.Qstep}{4} & \frac{abt.Qstep}{4} \\ -\frac{abt.Qstep}{4} & -\frac{abt.Qstep}{4} & -\frac{abt.Qstep}{4} & -\frac{abt.Qstep}{4} \\ -\frac{abt.Qstep}{2} & -\frac{abt.Qstep}{2} & -\frac{abt.Qstep}{2} & -\frac{abt.Qstep}{2} \end{bmatrix}$$

嵌入误差基本独立于视频内容，仅仅与对量化DCT系数的改动有关。

理论推导-归零推论

- 关键像素归零假设

a	b	c	d
e	f	g	h
i	j	k	l
m	n	o	p

推论 1 若 $b_{i3}=0(i=0,1,2,3)$, 则

$$\Delta = \begin{bmatrix} \partial_{00} & \partial_{01} & -\partial_{00} & -2\partial_{01} \\ \partial_{10} & \partial_{11} & -\partial_{10} & -2\partial_{11} \\ \partial_{20} & \partial_{21} & -\partial_{20} & -2\partial_{21} \\ \partial_{30} & \partial_{31} & -\partial_{30} & -2\partial_{31} \end{bmatrix}, \partial_{ij} \in Z (i = 0,1,2,3; j = 0,1).$$

推论 2 若 $b_{3j}=0(j=0,1,2,3)$, 则

$$\Delta = \begin{bmatrix} \partial_{00} & \partial_{01} & \partial_{02} & \partial_{03} \\ \partial_{10} & \partial_{11} & \partial_{12} & \partial_{13} \\ -\partial_{00} & -\partial_{01} & -\partial_{02} & -\partial_{03} \\ -2\partial_{10} & -2\partial_{31} & -2\partial_{12} & -2\partial_{13} \end{bmatrix}, \partial_{ij} \in Z (i = 0,1; j = 0,1,2,3).$$

理论推导-举例验证

$$\Delta = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ t & 0 & -t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = C_i^T (\Delta \times Qstep \times PF) C_i = \begin{bmatrix} 0 & \frac{abt.Qstep}{2} & \frac{abt.Qstep}{2} & 0 \\ 0 & \frac{abt.Qstep}{2} & \frac{abt.Qstep}{2} & 0 \\ 0 & -\frac{abt.Qstep}{2} & -\frac{abt.Qstep}{2} & 0 \\ 0 & -abt.Qstep & -abt.Qstep & 0 \end{bmatrix} \cdot 4$$

根据系数耦合性关系修改DCT系数，
最右边一列像素嵌入误差为零。

定义耦合系数对

- 定义：具备 (C_1, kC_2) ($k=1,2$)形式的一对量化DCT系数。当对 C_1 进行“+t”操作，对 C_2 进行“-kt”操作时，嵌入误差矩阵的最后一行或最后一列值为零。
- (嵌入系数， 补偿系数)

24个耦合系数对：

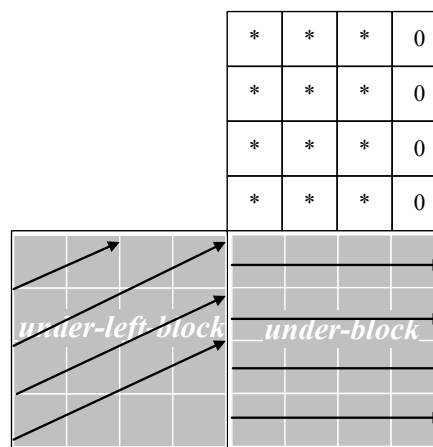
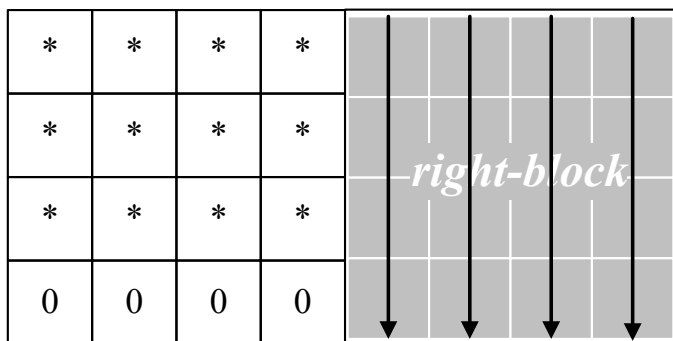
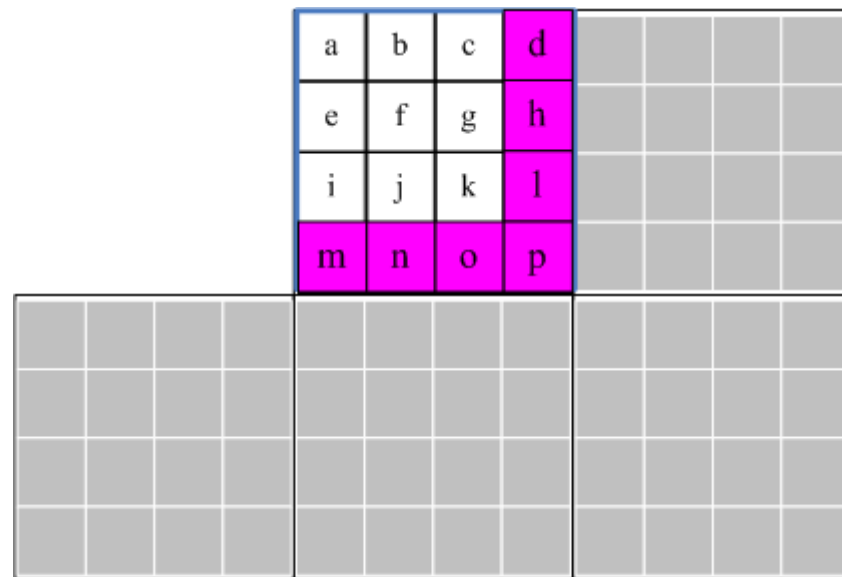
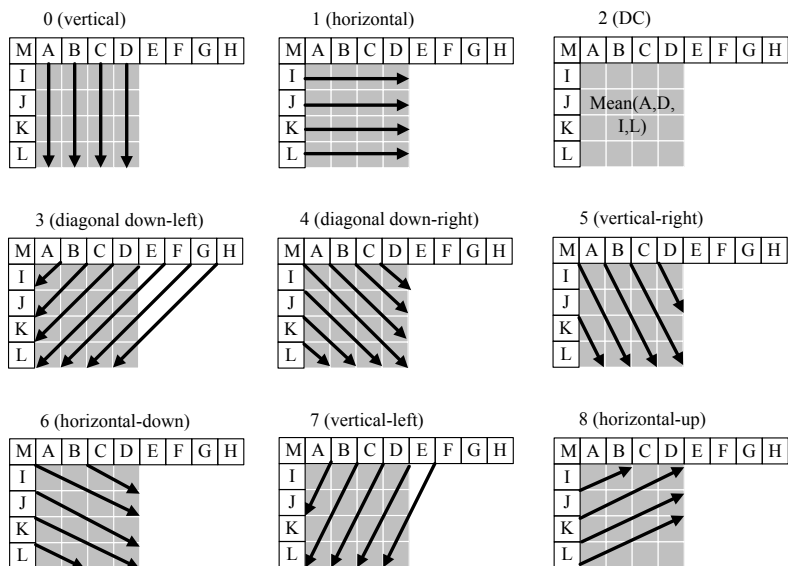
- 使得误差矩阵最后一列值为零的耦合系数对集合为VS (Vertical Set).

$$VS = \{(\tilde{Y}_{00}, \tilde{Y}_{02}), (\tilde{Y}_{02}, \tilde{Y}_{00}), (\tilde{Y}_{10}, \tilde{Y}_{12}), (\tilde{Y}_{12}, \tilde{Y}_{10}), \\ (\tilde{Y}_{20}, \tilde{Y}_{22}), (\tilde{Y}_{22}, \tilde{Y}_{20}), (\tilde{Y}_{30}, \tilde{Y}_{32}), (\tilde{Y}_{32}, \tilde{Y}_{30}), \\ (\tilde{Y}_{01}, 2\tilde{Y}_{03}), (\tilde{Y}_{11}, 2\tilde{Y}_{13}), (\tilde{Y}_{21}, 2\tilde{Y}_{23}), (\tilde{Y}_{31}, 2\tilde{Y}_{33})\}$$

- 使得误差矩阵最后一行值为零的耦合系数对集合为HS (Horizontal Set)

$$HS = \{(\tilde{Y}_{00}, \tilde{Y}_{20}), (\tilde{Y}_{20}, \tilde{Y}_{00}), (\tilde{Y}_{01}, \tilde{Y}_{21}), (\tilde{Y}_{21}, \tilde{Y}_{01}), \\ (\tilde{Y}_{02}, \tilde{Y}_{22}), (\tilde{Y}_{22}, \tilde{Y}_{02}), (\tilde{Y}_{03}, \tilde{Y}_{23}), (\tilde{Y}_{23}, \tilde{Y}_{03}), \\ (\tilde{Y}_{10}, 2\tilde{Y}_{30}), (\tilde{Y}_{11}, 2\tilde{Y}_{31}), (\tilde{Y}_{12}, 2\tilde{Y}_{32}), (\tilde{Y}_{13}, 2\tilde{Y}_{33})\}$$

进一步思考？

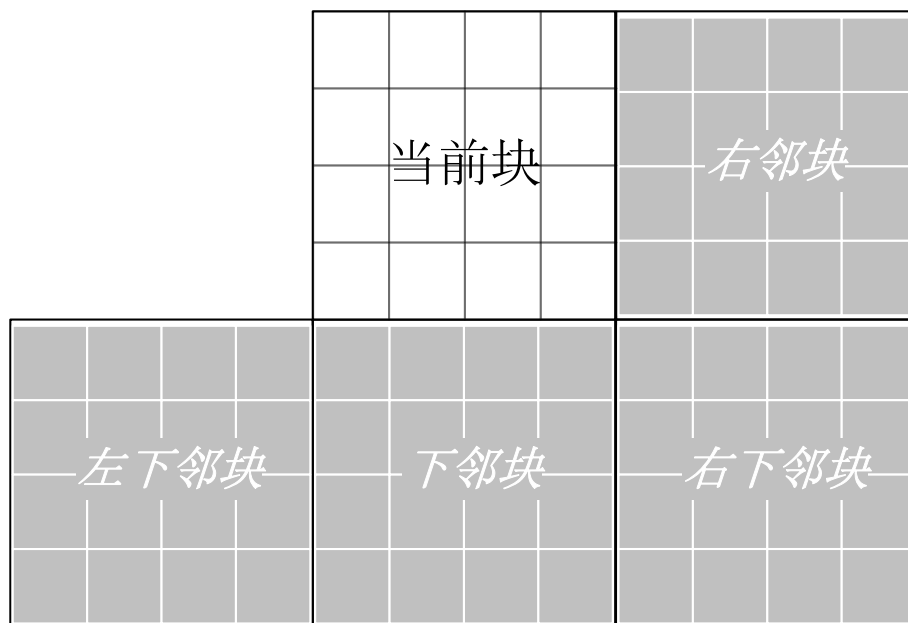


直觉

- 根据邻块帧内预测模式，**截断**嵌入误差块间的**传递途径**。
- 提出邻块帧内预测模式应满足的两种**限制条件**。这两种条件可分别截断块内最后一列与最后一行**关键像素**嵌入误差的传递途径。
- **完全避免**帧内失真漂移。

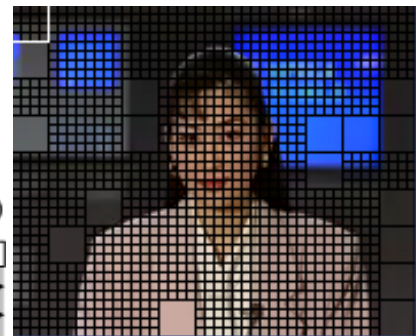
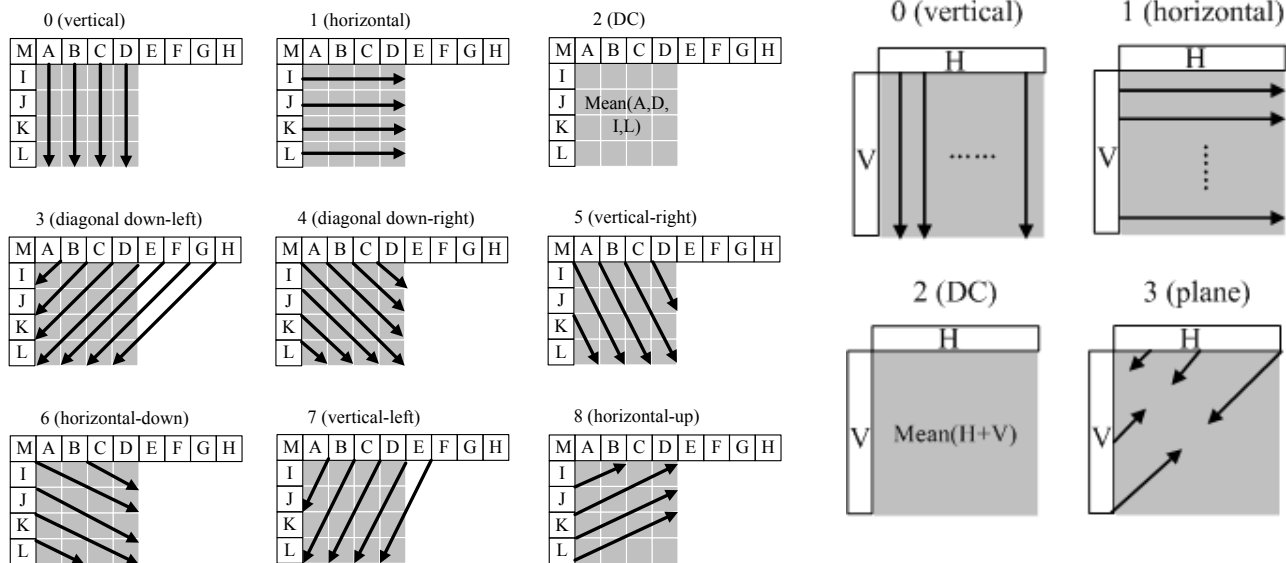


理论：定义帧内预测四大邻块



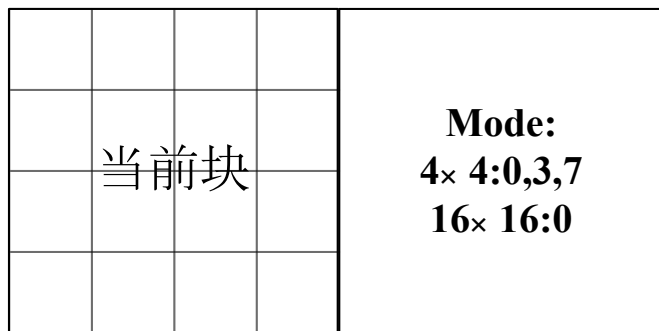
考虑全面：帧内预测模式

- H.264/AVC视频编解码标准提供了9种4×4块的帧内预测模式、4种16×16块的帧内预测模式。



H264/AVC标准在编码时，选取使得预测值与像素值的绝对误差和最小的预测模式进行编码。因此，帧内预测模式反映了图像内部的纹理特征。

定义类垂直纹理-条件一

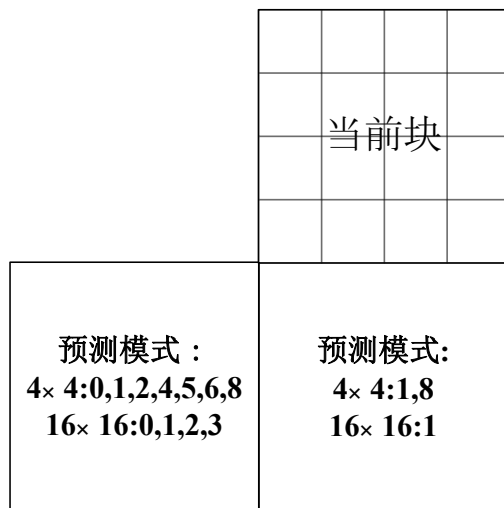


right-mode

$\{0,3,7\}_{(4 \times 4)} \cup \{0\}_{(16 \times 16)}$

- 右邻块具备4×4块的帧内预测模式0、3或7，或者右邻块是一个帧内预测模式为0的16×16亮度块的子块。
- 如果一个4×4亮度块满足条件一，则其最后一列的边缘像素将不会用作其右邻块的预测参考像素。则若在此块内嵌入信息，嵌入误差不会传递到其右邻块。

定义类水平纹理-条件二

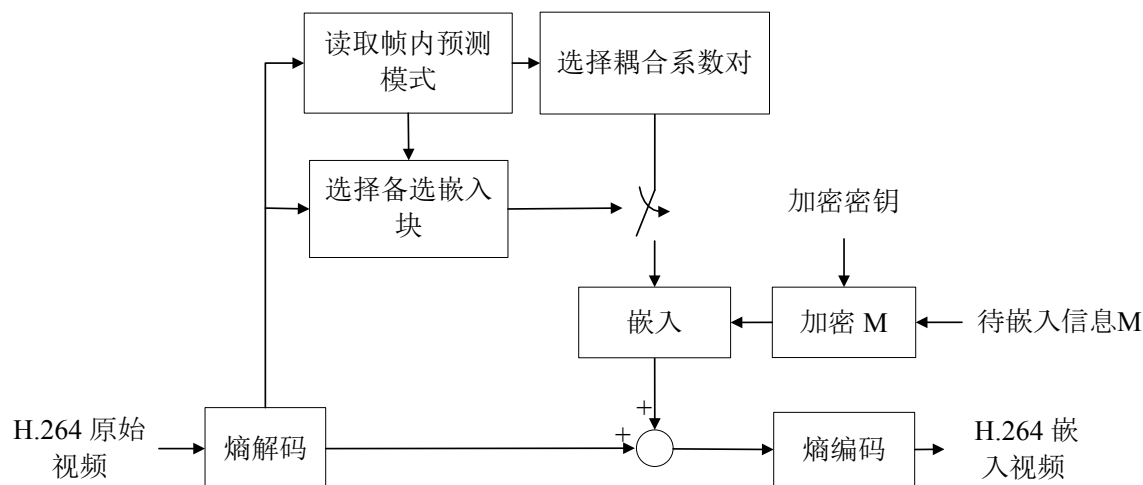


(under-left-mode
 $\{0,1,2,4,5,6,8\}_{(4 \times 4)} \cup \{0,1,2,3\}_{(16 \times 16)}$) (under-mode
 $\{1,8\}_{(4 \times 4)} \cup \{1\}_{(16 \times 16)}$)

- 左下邻块具备4×4块的帧内预测模式0、1、2、4、5、6或者8，或者左下邻块是一个16×16亮度块的子块；同时，下邻块具备4×4块的帧内预测模式1或8，或者下邻块是一个帧内预测模式为1的16×16亮度块的子块。
- 如果一个4×4亮度块满足条件二，则其最后一行的边缘像素将不会用作其左下邻块和下邻块的预测参考像素。则若在此块内嵌入信息，嵌入误差不会传递到其左下邻块和下邻块。

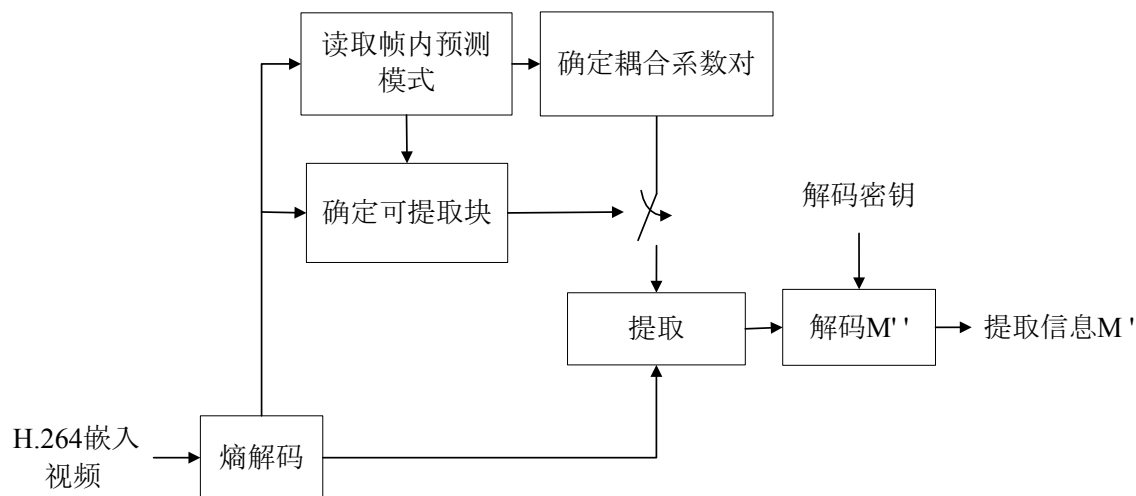
基于纹理特征的信息隐藏方法-嵌入

- 熵解码
- 根据直流系数的绝对值和自定义参数T选择**备选嵌入块**。
- 判断备选嵌入块的邻块是否满足条件一或条件二。
 - 如果满足**条件一**，则从**HS**中选择耦合系数对进行嵌入与补偿；
 - 如果满足**条件二**，则从**VS**中选择耦合系数对进行嵌入与补偿。
- 根据嵌入系数的**奇偶性**进行调制，调制的目的是使得嵌入系数的奇偶性与待嵌入信息保持一致。
- 熵编码



基于纹理特征的信息隐藏方法-提取

- 熵解码
- 根据直流系数和自定义参数T选择可能嵌入了信息的待提取块。
- 判断待提取块的邻块是否满足条件一或条件二。
 - 若满足**条件一**，则从来自**HS**的耦合系数对中的嵌入系数中根据奇偶性提取1比特信息；
 - 若满足**条件二**，则从来自**VS**的耦合系数对中的嵌入系数中根据奇偶性提取1比特信息。



实验-视觉效果

原始帧



38.24dB



35.65dB

嵌入帧



37.09dB



34.68dB

实验-性能比较

视频序列		方法 ^[50]	方法 ^[68]	本方法
算法类型（提取型/检测型）		检测型	检测型	提取型
Carphone	嵌入容量（比特/帧）	507	500	806
	PSNR2（dB）	38.32	41.24	42.9
	比特率增加比率（%）	4.38	3.28	3.24
Foreman	嵌入容量（比特/帧）	591	597	735
	PSNR2（dB）	37.28	40.18	42.72
	比特率增加比率（%）	4.62	2.64	3.16
Mobile	嵌入容量（比特/帧）	1225	1219	910
	PSNR2（dB）	34.20	37.22	41.12
	比特率增加比率（%）	2.17	0.68	0.88
Salesman	嵌入容量（比特/帧）	736	750	936
	PSNR2（dB）	36.69	39.57	38.58
	比特率增加比率（%）	4.43	2.49	7.17

思考

- 评价？