

# 多媒体编码及其信息安全应用

*Multimedia Coding and Its Application to  
Information Security*

## 第八讲

### 视频隐写与隐写分析

授课时间：2022年4月11日

## 内容提纲（3节课内容）

### 1. 视频隐写技术

- 视频编码基础简要回顾
- 视频隐写技术概述
- 视频隐写技术典型算法
- 小结

### 2. 视频隐写分析技术

- 视频隐写技术简要回顾
- 视频隐写分析技术概述
- 视频隐写分析技术典型算法
- 小结

## 内容提纲（3节课内容）

### 1. 视频隐写技术

- 视频编码基础简要回顾
- 视频隐写技术概述
- 视频隐写技术典型算法
- 小结

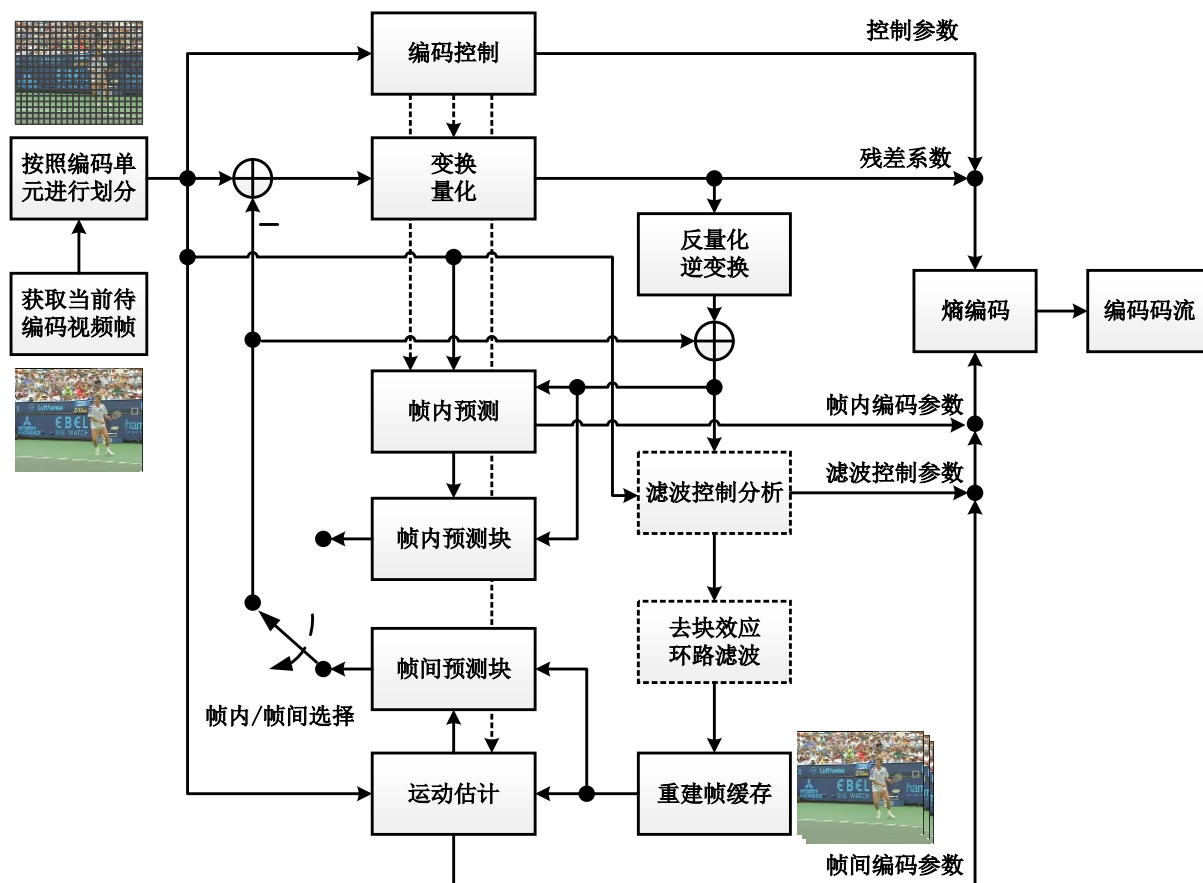
### 2. 视频隐写分析技术

- 视频隐写技术简要回顾
- 视频隐写分析技术概述
- 视频隐写分析技术典型算法
- 小结

# 1 视频编码基础简要回顾

## ○ 视频压缩编码是从原始视频数据中去除冗余数据的过程

- 如下图所示，主要包括三种去除冗余的关键技术：基于运动补偿的帧间预测用于消除时间冗余；帧内预测和基于块的变换编码用于消除空间冗余；熵编码用于消除前两种技术所生成数据中的信息熵冗余。



## 内容提纲（3节课内容）

### 1. 视频隐写技术

- 视频编码基础简要回顾
- 视频隐写技术概述
- 视频隐写技术典型算法
- 小结

### 2. 视频隐写分析技术

- 视频隐写技术简要回顾
- 视频隐写分析技术概述
- 视频隐写分析技术典型算法
- 小结

## 2 视频隐写技术概述

### ○ 视频隐写技术基本性质

- **不可感知性**：也称为隐蔽性，主要包括视听觉不可区分性和统计不可检测性。视听觉不可区分性是指，隐写文件和相应载体文件应当具备近乎相同的视听觉感官质量，它们之间的差异，对于人类视听觉系统而言不可区分。统计不可检测性是指，隐写嵌入操作不会对载体文件的统计特性造成明显扰动，使得隐写分析者（攻击者）无法使用简单的统计特征检测出隐写现象或行为的存在。
- **嵌入容量**：采用隐写技术进行隐蔽通信时，在保证一定隐写安全性的条件下，应当尽量增加载体文件中嵌入的秘密信息数据。嵌入容量表示，在保证隐蔽性等前提下，隐写算法能够向载体文件嵌入的最大数据量。
- **鲁棒性**：该性质反映了隐写技术在有损信道下的抗干扰能力，指隐写文件在经过信号处理操作或恶意修改后，仍能可靠、完整地恢复出嵌入的秘密信息。常见的信号处理操作包括：数/模、模/数转换、线性和非线性滤波（模糊，锐化，中值滤波）、有损压缩、转码、伽马矫正、旋转、剪裁、位移、缩放、帧交换、帧平均、插帧、删帧等。

## 2 视频隐写技术概述

### ○ 视频隐写技术分类（按照秘密信息的嵌入域）

- **空域视频隐写：**通过在视频压缩编码前直接修改视频帧的原始像素值或其变换域系数以嵌入秘密信息。空域视频隐写的主要局限性在于，首先，该类算法通常结合纠错编码技术进行冗余嵌入，以此增强所嵌秘密信息抗视频压缩编码的鲁棒性并降低误码率。尽管如此，这些措施仍然无法保证嵌入的秘密信息总能被正确提取，还极大限制了嵌入容量；其次，针对空域视频隐写的隐写分析技术已较为成熟，应用该类隐写算法存在较高的安全风险。
- **压缩域视频隐写：**通过利用视频压缩编码框架中的某些模块或特性以嵌入秘密信息。压缩域视频隐写包括：帧内预测模式（Intra Prediction Mode, Intra-PM）域隐写、帧间预测模式（Inter Prediction Mode, Inter-PM）域隐写、运动向量（Motion Vector, MV）域隐写和变换系数（Transform Coefficient）域隐写等。算法很大程度上契合于所使用的视频编码器和视频编码标准，因此能够有效限制隐写嵌入操作对载体视频造成的影响，通常具有更高的隐写安全性和更大的嵌入容量。

## 2 视频隐写技术概述

### ○ 视频隐写技术分类（按照秘密信息的嵌入域）

- **格式视频隐写**：通常利用视频封装格式的保留（或冗余）字段以嵌入秘密信息。格式视频隐写的主要局限性在于，首先，该类算法的安全性依赖于对隐写算法的保密，因此不满足Kerckhoffs准则\*；其次，其会在隐写视频中产生特殊的处理痕迹（也称为特征码），从而无法有效抵抗专用分析方法的检测。

\*Kerckhoffs准则的六个原则是

- 即使非数学上不可破解，系统也应在实质（实用）程度上无法破解。
- 系统内不应含任何机密物，即使落入敌人手中也不会造成困扰。
- 密钥必须易于沟通和记忆，而不须写下；且双方可以容易的改变密钥。
- 系统应可以用于电讯。
- 系统应可以携带，不应需要两个人或以上才能使用（应只要一个人就能使用）。
- 系统应容易使用，不致让用户的脑力过分操劳，也无需记得长串的规则。



## 2 视频隐写技术概述

### ○ 视频隐写技术发展现状

- 如前述，空域视频隐写的嵌入容量受到较大限制，格式视频隐写的安全性无法得到有效保证。因此，空域视频隐写和格式视频隐写不适用于大容量高隐蔽性隐写通信。
- 随着2003年 H.264/AVC 视频编码标准的推出和一系列新型视频编码特性的引入，压缩域视频隐写逐渐成为视频隐写领域的研究重点。研究者通过在视频压缩编码框架中寻找合适的嵌入域，并探寻如何将隐写嵌入操作和视频压缩编码紧密结合，在此基础上设计高性能视频隐写算法。经过学术界的长期努力，针对压缩域视频隐写技术的研究取得了显著进展，已知可用于隐写的视频码流语法元素或编码特性包括：帧内预测模式，帧间预测模式，运动向量，变换系数，量化参数（Quantization Parameter, QP），熵编码（Entropy Coding）码字，编码块模式（Coded Block Pattern, CBP）等。

## 内容提纲（3节课内容）

### 1. 视频隐写技术

- 视频编码基础简要回顾
- 视频隐写技术概述
- 视频隐写技术典型算法
- 小结

### 2. 视频隐写分析技术

- 视频隐写技术简要回顾
- 视频隐写分析技术概述
- 视频隐写分析技术典型算法
- 小结

## 3.1 视频隐写技术典型算法分类

### ○按照秘密信息的嵌入域

- 帧内预测模式 (Intra Prediction Mode, Intra-PM) 域
- 帧间预测模式 (Inter Prediction Mode, Inter-PM) 域
- 运动向量 (Motion Vector, MV) 域
- 变换系数 (Transform Coefficient) 域
- 量化参数 (Quantization Parameter, QP) 域
- 熵编码 (Entropy Coding) 域
- 编码块模式 (Coded Block Pattern, CBP) 域
- 其他

## 3.2 视频隐写技术典型算法——帧内预测模式域

### ○按照秘密信息的嵌入域

- 帧内预测模式 (Intra Prediction Mode, Intra-PM) 域
- 帧间预测模式 (Inter Prediction Mode, Inter-PM) 域
- 运动向量 (Motion Vector, MV) 域
- 变换系数 (Transform Coefficient) 域
- 量化参数 (Quantization Parameter, QP) 域
- 熵编码 (Entropy Coding) 域
- 编码块模式 (Coded Block Pattern, CBP) 域
- 其他

## 3.2 视频隐写技术典型算法——帧内预测模式域

### ○ 基本嵌入方法

- 基于帧内预测模式的视频隐写算法通常通过改变编码单元的帧内预测模式来实现秘密消息的嵌入。
- 基于 H.264/AVC 帧内预测模式视频隐写算法的调制对象通常为亮度帧内预测模式。基本档次的 H.264/AVC 的亮度帧内预测模式可选基于  $4 \times 4$  块或基于  $16 \times 16$  块的预测。由于调制基于  $16 \times 16$  块的预测模式容易对被调制视频的视觉质量造成较大影响，现有方法大多只修改基于  $4 \times 4$  块的预测模式。
- 帧内预测模式与信息比特的基本映射方法通常为：将  $4 \times 4$  块的 9 种亮度帧内预测模式分成两组（如，M 组和 N 组），一组（M 组）映射信息比特“0”，另一组（N 组）映射信息比特“1”。若当前块帧内预测模式所映射的信息比特与待嵌入的信息比特不同，则根据一定策略，将当前块的帧内预测模式调制为待嵌入信息比特对应分组中的某一帧内预测模式。
- 该类隐写算法信息的提取过程只需对视频流中的帧内预测模式进行解码。该类算法可以保持良好的视觉质量，并且对视频流比特率的影响很小。

## 3.2 视频隐写技术典型算法——帧内预测模式域

### ○非常规嵌入方法

- Liu<sup>[1]</sup>等提出的水印方法将帧内预测模式块的大小分为两组，采用 $4 \times 4$ 大小预测的分块和采用 $16 \times 16$ 大小预测的分块映射信息比特“0”，采用 $8 \times 8$ 大小预测的分块映射信息比特“1”。通过编码时强制指定预测模式块的大小来嵌入信息。
- Kapotas<sup>[2]</sup>等将信息嵌入在帧内脉冲编码调制（Intra Pulse Code Modulation, IPCM）模式的数据中，实现了一种H.264流的实时数据嵌入方法。
  - 帧内脉冲编码调制（Intra Pulse Code Modulation, IPCM）是H.264视频帧内预测外的一种特殊的可选模式。在该模式下，编码器绕过常规的预测、变换、量化和编码过程，直接传输图像的样点。在一些特殊的情况下，如以非常高的感知质量进行编码时，采用该模式编码可能比常规流程所需的比特数更少。

[1]Liu C H, Chen O T C. Data hiding in inter and intra prediction modes of H.264/AVC// Proceedings of the 20th International Symposium on Circuits and Systems, ISCAS'08. Seattle: IEEE, 2008: 3025-3028.

[2]Kapotas S K, Skodras A N. Real time data hiding by exploiting the IPCM macroblocks in H.264/AVC streams. Journal of Real-Time Image Processing, 2009, 4(1): 33-41.

### 3.3 视频隐写技术典型算法——帧间预测模式域

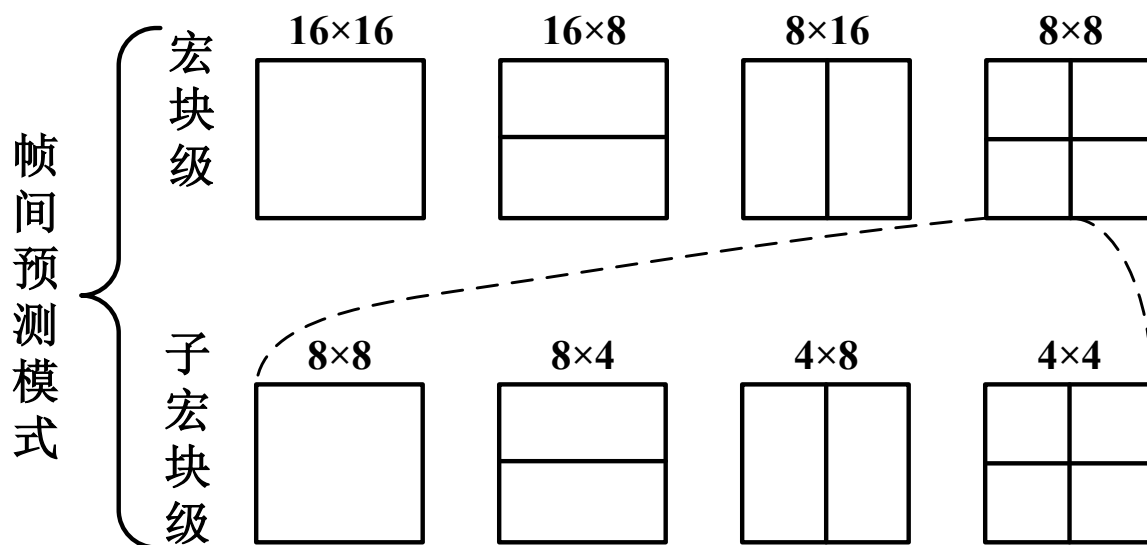
#### ○按照秘密信息的嵌入域

- 帧内预测模式 (Intra Prediction Mode, Intra-PM) 域
- 帧间预测模式 (Inter Prediction Mode, Inter-PM) 域
- 运动向量 (Motion Vector, MV) 域
- 变换系数 (Transform Coefficient) 域
- 量化参数 (Quantization Parameter, QP) 域
- 熵编码 (Entropy Coding) 域
- 编码块模式 (Coded Block Pattern, CBP) 域
- 其他

### 3.3 视频隐写技术典型算法——帧间预测模式域

#### ○ 基本嵌入方法

- 帧间预测（Inter Prediction）根据邻近视频帧存在一定相关性的特点，在邻近参考帧中为当前待编码块搜索出相应的最佳预测块，通过编码它们之间的残差从而有效去除时间冗余。帧间预测过程中产生的语法元素“帧间预测模式”常被用作隐写载体。
- 与基于帧内预测模式的视频隐写算法类似，早期基于帧间预测模式的视频隐写算法主要通过建立帧间预测模式与密息比特间的映射关系，通过调制编码单元的帧间预测模式来嵌入密息。



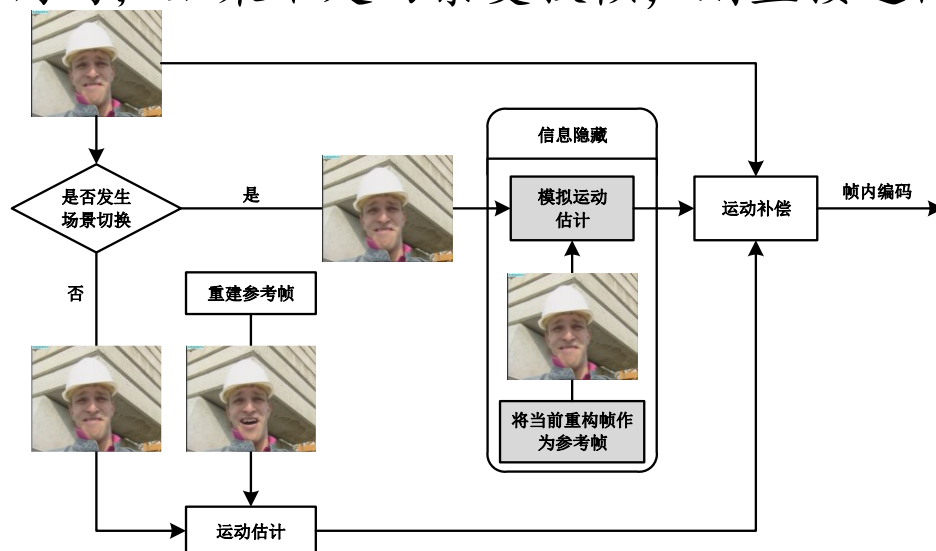


### 3.3 视频隐写技术典型算法——帧间预测模式域

#### ○ 基于宏块预测模式调制的嵌入方法

- Kapotas等<sup>[1]</sup>在H.264/AVC宏块级帧间预测模式和密息比特间建立了映射关系，隐写时根据待嵌密息比特调制修改当前帧间编码单元的宏块级帧间预测模式。
- 在帧间编码时，首先利用场景变换检测算法判断该帧是否为场景变换帧。如果是场景变换帧，则复制当前重建帧。然后，将该复制帧自身作为参考，对当前帧进行帧间预测编码。根据待嵌入的密息比特和下表选择帧间编码的分块模式进行预测编码；如果不是场景变换帧，则直接进行帧间预测编码而不嵌入信息。

宏块类型	二进制码
16×16	00
16×8	01
8×16	10
8×8	11



[1] Kapotas S K, Skodras A N. A new data hiding scheme for scene change detection in H.264 encoded video sequences//Proceedings of the 8th International Conference on Multimedia and Expo, ICME'10. Hannover: IEEE, 2008: 277280.

### 3.3 视频隐写技术典型算法——帧间预测模式域

#### ○ 基于宏块预测模式调制的嵌入方法

- Wang等<sup>[1]</sup>提出了一种基于H.264帧内及帧间预测模式的嵌入方法。该算法通过调制某些宏块的预测模式，从而在I帧、P帧和B帧中嵌入秘密信息。
- 对于I帧中采用Intra\_4×4帧内预测模式进行编码的宏块，通过调制其中某个由密钥随机选择的4×4块的帧内预测模式以嵌入秘密信息；对P帧和B帧中编码模式不为SKIP和DIRECT的宏块，则通过调制其（帧内或帧间）预测模式以嵌入秘密信息。
- 为了保证秘密信息嵌入后的视觉不可感知性，并保证隐写视频具备较好的率失真平衡，该方法对宏块实施预测模式调制后，对其进行了优化处理，即如果预测模式调制后的率失真代价大于Intra\_4×4预测模式的率失真代价，则当前宏块将采用Intra\_4×4帧内预测模式进行重新编码，再进行信息嵌入。
- 该方法的具体步骤见下一页

[1]王让定,朱洪留,徐达文. 基于编码模式的H.264/AVC 视频信息隐藏算法. 光电工程, 2010, 37(5): 144150.

### 3.3 视频隐写技术典型算法——帧间预测模式域

#### ○ 基于宏块预测模式调制的嵌入方法

- 步骤1：调整Intra\_4×4编码宏块的预测模式。如果Intra\_4×4是当前宏块的最佳预测模式，则先由密钥随机选择宏块中的某个4×4分块，然后根据下式调整编码模式，调整之后执行步骤4；否则执行步骤2。

$$Intramode = \begin{cases} best\_imode, & \text{if } (best\_imode \bmod 2) = m_i \\ sub\_imode, & \text{if } (best\_imode \bmod 2) \neq m_i \end{cases}$$

式中， $m_i$ 是第*i*位隐秘信息； $best\_imode$ 是当前4×4块的最佳预测模式； $sub\_imode$ 为替换模式，是模式的索引模2等于秘密信息比特的Intra\_4×4模式中率失真代价最小的预测模式。

- 步骤2：调整宏块的帧内或帧间预测模式。如果当前宏块是I帧宏块或者采用SKIP或DIRECT模式进行编码，则执行步骤4，否则根据 $mode = \{r \mid \min\{J(s, c, r \mid QP, \lambda_r)\}, r \in S'\}$ 调制当前宏块的帧内或帧间预测模式以嵌入秘密信息。QP表示量化参数； $s$ 和 $c$ 分别代表原始和重建的宏块； $mode$ 表示当前宏块的最终编码模式， $S'$ 定义如下。

$$S' = \begin{cases} \{Intra\_16 \times 16, 16 \times 8, P8 \times 8\}, & \text{if } m_i = 0 \\ \{16 \times 16, 8 \times 16\}, & \text{if } m_i = 1 \end{cases}$$

### 3.3 视频隐写技术典型算法——帧间预测模式域

#### ○ 基于宏块预测模式调制的嵌入方法

- 步骤3：根据率失真代价函数进行优化处理。将调整后的模式与Intra\_4×4模式的率失真代价进行比较，选择率失真代价较小的模式作为当前宏块的预测模式，如果最终选择的模式是Intra\_4×4，则转到步骤1，否则执行步骤4。
- 步骤4：将编码结果和当前宏块调整后的编码模式写入码流，并选取下一个宏块重复以上步骤，直到秘密信息嵌入完毕或者视频序列结束。
- 实验结果表明，该算法可达到较好的率失真平衡，并减小了秘密信息隐写嵌入对视频质量和视频码流的影响。

### 3.3 视频隐写技术典型算法——帧间预测模式域

#### ○ 优化嵌入方法

##### ● 上述基本嵌入方法存在几个问题。

- 首先，现有的方案随机修改了宏块原有的预测模式，很大程度上违背了视频压缩的基本编码原则。
- 其次，嵌入效率较低。同时，采用顺序嵌入方式可能会降低编码性能。
- 除此之外，隐写分析结果表明，任意修改划分模式可能会导致压缩视频严重偏离最佳编码结果，无法抵抗专用的隐写分析方法。

##### ● 为了解决上述问题，目前提出了一些优化的嵌入方法，它们通过结合自适应编码框架进行密息的嵌入和提取，在减小隐写对视频质量的影响的同时，提升了隐写的安全性。

### 3.3 视频隐写技术典型算法——帧间预测模式域

#### ○ 基于宏块划分模式扰动的自适应视频隐写算法

- Zhang<sup>[1]</sup>等提出了一种优化嵌入方法，利用H.264中树状结构帧间预测模式划分的编码特性，通过修改编码模型进行信息嵌入。该方法采用STC和WPC构建了双层自适应嵌入框架，通过修改宏块划分模式实现密息嵌入。
- 第一层隐蔽信道的构建。将奇偶校验函数定义为 $\mathcal{P}(\mathbf{P}) = \bigoplus_{i=1}^8 p_i$ ，其中， $p_1 p_2 \dots p_8$ 为划分模式 $\mathbf{P}$ 对应的8比特二进制序列。通过 $\mathcal{P}$ 可将帧间宏块的集合 $\mathbb{P} = (\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, \dots, \mathbf{P}_n)$ 映射得到第一层隐蔽信道的载体向量 $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ，其中 $x_i = \mathcal{P}(\mathbf{P}_i)$ 。考虑到对视觉质量和编码效率的影响，该方法将嵌入失真值定义为：调制为某种划分模式后，原始和重建分块之间的残差平方和、以及当前分块需要嵌入的信息比特数在自定义参数下的融合，利用STC在第一层嵌入通道进行嵌入。
- 第二层隐蔽信道的构建。取出每个二级划分模式8比特向量中的前7个比特，即 $\tilde{\mathbf{P}}_n = p_{n,1}, p_{n,2}, \dots, p_{n,7}$ ，如果第一层隐蔽信道的嵌入结果表明 $x_i \in \mathbf{x}$ 需要被修改，则翻转 $\mathbf{P}_i$ 所对应8比特二进制序列中的任意一个比特即可。所以，对应的 $\tilde{\mathbf{P}}_i$ 可以被[7,4]汉明码校验矩阵映射为一个3比特向量，构建为第二层WPC湿纸编码通道进行嵌入。

[1]Zhang H, Cao Y, Zhao X, et al. Video steganography with perturbed macroblock partition//Proceedings of the 2nd Workshop on Information Hiding and Multimedia Security, IH&MMSec'14. Salzburg: ACM, 2014: 115-122.

### 3.4 视频隐写技术典型算法——运动向量域

#### ○按照秘密信息的嵌入域

- 帧内预测模式 (Intra Prediction Mode, Intra-PM) 域
- 帧间预测模式 (Inter Prediction Mode, Inter-PM) 域
- 运动向量 (Motion Vector, MV) 域
- 变换系数 (Transform Coefficient) 域
- 量化参数 (Quantization Parameter, QP) 域
- 熵编码 (Entropy Coding) 域
- 编码块模式 (Coded Block Pattern, CBP) 域
- 其他



## 3.4 视频隐写技术典型算法——运动向量域

### ○ 基本嵌入方法

- 运动向量域视频隐写通过调制运动估计模块产生的运动向量以嵌入秘密信息。压缩视频通常包含充足的运动向量，故运动向量域视频隐写算法具有较大的嵌入容量。此外，该类型算法通常与视频压缩编码紧密结合，对运动向量进行调制修改产生的隐写扰动会被吸收进预测残差，在后续的视频编码操作中被自动处理。因此，对运动向量进行调制修改只会对视频的视觉质量和编码效率产生轻微的影响。基于上述原因，运动向量域视频隐写长期以来吸引着信息隐藏领域研究者的广泛关注，具有较多的研究成果。
- 最早将运动向量用于信息隐藏的尝试可追溯到 Jordan 等<sup>[1]</sup>的工作。他们设计了一种视频水印方法，通过直接对视频运动向量进行轻微修改以嵌入水印信息。此后，针对该方法的改进方案被不断被提出，形成了两类最具代表性的运动向量基本嵌入方案：
  - 类1：基于运动向量幅值（Magnitude）的嵌入方案<sup>[2,3]</sup>。
  - 类2：基于运动向量相位（Phase）的嵌入方案<sup>[4]</sup>。

[1] Jordan F, Kutter M, Ebrahimi T. Proposal of a watermarking technique for hiding/retrieving data in compressed and decompressed video. ISO/IEC Doc. JTC1/SC 29/QWG 11 MPEG 97/M 2281, 1997.

[2] Dai Y, Zhang L, Yang Y. A new method of MPEG video watermarking technology//Proceedings of the 4th International Conference on Communication Technology, ICCT'03. Beijing: IEEE, 2003: 1845-1847.

[3] Xu C, Ping X, Zhang T. Steganography in compressed video stream//Proceedings of the 1st International Conference on Innovative Computing, Information and Control, ICICIC'06. Beijing: IEEE, 2006: 269-272.

[4] Fang D, Chang L. Data hiding for digital video with phase of motion vector//Proceedings of the 18th International Symposium on Circuits and Systems, ISCAS'06. Island of Kos: IEEE, 2006: 1422-1425.



## 3.4 视频隐写技术典型算法——运动向量域

### ○ 基本嵌入方法

#### ● 类1：基于运动向量幅值（Magnitude）的嵌入方案

- 人类视觉系统对运动缓慢区域变化的感知比对运动剧烈区域变化的感知更加敏感。根据人类视觉系统的这一特性，研究者认为，由于幅值较大的运动向量通常对应运动较为剧烈的区域，因此，对这些运动向量进行调制修改，不会造成隐写视频主观视觉质量的显著下降，从而能够较好地保证视觉不可感知性。
- 基于此思想，该类嵌入方案<sup>[1,2]</sup>优选幅值超过预设阈值的运动向量，通过修改它们的水平或垂直分量以嵌入秘密信息。在Xu等<sup>[2]</sup>提出的MPEG-2视频隐写算法中，他们通过修改帧内编码视频帧（I帧）的中频量化DCT系数的最低有效比特位（Least Significant Bit, LSB）以嵌入算法控制信息，通过调制帧间编码视频帧（P帧，B帧）的大幅值运动向量以嵌入实际秘密信息。

[1] Dai Y, Zhang L, Yang Y. A new method of MPEG video watermarking technology//Proceedings of the 4th International Conference on Communication Technology, ICCT'03. Beijing: IEEE, 2003: 1845-1847.

[2] Xu C, Ping X, Zhang T. Steganography in compressed video stream//Proceedings of the 1st International Conference on Innovative Computing, Information and Control, ICICIC'06. Beijing: IEEE, 2006: 269-272.

## 3.4 视频隐写技术典型算法——运动向量域

### ○ 基本嵌入方法

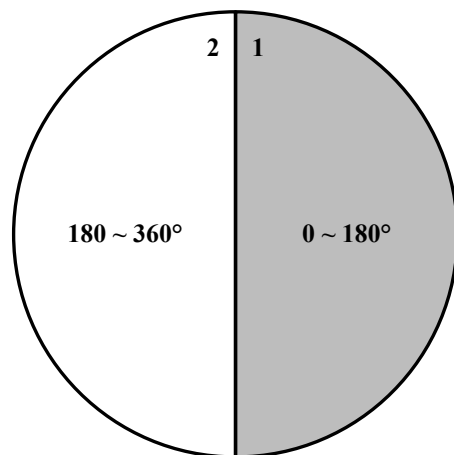
- **类1：基于运动向量幅值 (Magnitude) 的嵌入方案**
- 具体地，给定某个图像组 (Group Of Pictures, GOP)，采用该算法对此 GOP 进行数据嵌入和提取的相关流程步骤如下：
  - **步骤1：**对于该 GOP 中的某个帧间编码视频帧，解码获得相应的运动向量，记为  $\mathbf{V}_i$  ( $1 \leq i \leq N_{MV}$ )，其中  $N_{MV}$  表示该帧中运动向量的数量。
  - **步骤2：**计算该帧中每个运动向量  $\mathbf{V}_i$  的幅值  $|\mathbf{V}_i| = \sqrt{h_i^2 + v_i^2}$ ，其中  $h_i$  和  $v_i$  分别表示  $\mathbf{V}_i$  的水平和垂直分量。
  - **步骤3：**选择该帧中幅值不小于预设阈值  $\varepsilon$  的运动向量组成候选运动向量集合，即  $\mathbf{C} = \{\mathbf{V}_j \mid |\mathbf{V}_j| \geq \varepsilon, j \in [1, N_{MV}]\}$ 。
  - **步骤4：**对于集合  $\mathbf{C}$  中的每个运动向量  $\mathbf{V}_j$ ，计算其相位角  $\theta = \arctan(v_j/h_j)$ 。若  $\theta$  为锐角，则将秘密信息比特  $m$  嵌入  $\mathbf{V}_j$  的水平分量  $h_j$ ：当  $2 \cdot h_j \bmod 2 = m$  时， $h'_j = h_j$ ；当  $2 \cdot h_j \bmod 2 \neq m$  时， $h'_j = h_j + 0.5$ ，其中  $h'_j$  表示经过隐写的运动向量  $\mathbf{V}_j$  的水平分量。若  $\theta$  为钝角，则将秘密信息比特  $m$  嵌入  $\mathbf{V}_j$  的垂直分量  $v_j$ ：当  $2 \cdot v_j \bmod 2 = m$  时， $v'_j = v_j$ ；当  $2 \cdot v_j \bmod 2 \neq m$  时， $v'_j = v_j + 0.5$ ，其中  $v'_j$  表示经过隐写的运动向量  $\mathbf{V}_j$  的垂直分量。
  - **步骤5：**重复执行上述步骤 1 至 4，直到该 GOP 的所有候选运动向量均负载秘密信息，或秘密信息已全部嵌入。

## 3.4 视频隐写技术典型算法——运动向量域

### ○ 基本嵌入方法

#### ● 类2：基于运动向量相位（Phase）的嵌入方案

- Fang和Chang<sup>[1]</sup>提出了首个通过调制运动向量相位以嵌入秘密信息的隐写算法。在他们的工作中，将幅值位于预设阈值之上的运动向量依次排列并两两配对。对于给定的某对运动向量，若它们的相位角差值和待嵌秘密信息无法满足预设的“相位角差值—秘密信息比特”映射关系（例如下图），则对其中某个原始运动向量，重新对其相应的帧间编码分块进行运动估计，搜索得到一个满足映射关系的局部最优运动向量作为替换，使得经过调整的运动向量相位角差值能够符合嵌入条件。



	相位角差值	秘密信息比特
区域 1	0 ~ 180°	0
区域 2	180 ~ 360°	1

[1] Fang D, Chang L. Data hiding for digital video with phase of motion vector//Proceedings of the 18th International Symposium on Circuits and Systems, ISCAS'06. Island of Kos: IEEE, 2006: 1422-1425.

## 3.4 视频隐写技术典型算法——运动向量域

### ○ 基本嵌入方法

#### ● 类2：基于运动向量相位（Phase）的嵌入方案

- 具体地，对于某个帧间编码视频帧，采用该算法对其进行数据嵌入的相关流程步骤如下。

- 步骤1：对于该 GOP 中的某个帧间编码视频帧，解码获得相应的运动向量，记为  $\mathbf{V}_i$  ( $0 \leq i \leq N_{MV} - 1$ )，其中  $N_{MV}$  表示该帧中运动向量的数量。
- 步骤2：计算该帧中每个运动向量  $\mathbf{V}_i$  的幅值  $|\mathbf{V}_i| = \sqrt{h_i^2 + v_i^2}$ ，其中  $h_i$  和  $v_i$  分别表示  $\mathbf{V}_i$  的水平和垂直分量。
- 步骤3：选择该帧中幅值不小于预设阈值  $\varepsilon$  的运动向量组成候选运动向量集合，即  $\mathbf{C} = \{\mathbf{V}_j \mid |\mathbf{V}_j| \geq \varepsilon, j \in [0, N_{MV} - 1]\}$ 。
- 步骤4：对于集合  $\mathbf{C}$  中的每个运动向量  $\mathbf{V}_j$ ，计算其相位角  $\theta_j = \arctan(v_j/h_j)$ 。
- 步骤5：对于集合  $\mathbf{C}$  中的每对运动向量  $\mathbf{V}_{2k}$  和  $\mathbf{V}_{2k+1}$  ( $0 \leq k \leq \lfloor N_{MV}/2 \rfloor - 1$ )，计算它们的相位角差值  $\Delta\theta_i = |\theta_{2i} - \theta_{2i+1}|$ 。并根据预设的“相位角差值—秘密信息比特”映射关系和待嵌秘密信息比特  $m$ ，调制运动向量间的相位角差值以实施隐写嵌入。
- 步骤6：重复执行上述步骤 1 至 5，直到该 GOP 的所有候选运动向量均负载秘密信息，或秘密信息已全部嵌入。

## 3.4 视频隐写技术典型算法——运动向量域

### ○其他基本嵌入方法

- 基于“修改大幅值的运动向量比修改小幅值的运动向量更有利于保持隐写视频的主观视觉质量”这一假设，上述两类基本嵌入方案本质上都是将运动向量幅值作为筛选策略，选择幅值超过预设阈值的运动向量用于隐写修改。
- 然而，Aly<sup>[1]</sup>认为，基于幅值的运动向量筛选策略无法确保能够最小化产生的隐写扰动。根据此观点，他提出了一种与帧间编码分块预测误差（Prediction Error）相关联的运动向量筛选策略。该策略的基本假设是：对具有较大预测误差的帧间编码分块相应的运动向量进行调制修改，通常可产生较小的隐写扰动。
- 根据此策略，他们设计了基于预测误差的运动向量域隐写方案。该方案选择预测误差超过给定阈值的帧间编码分块，通过修改它们相应运动向量的水平和垂直分量的最低有效比特位以实施隐写。

[1] Aly H A. Data hiding in motion vectors of compressed video based on their associated prediction error. IEEE Transactions on Information Forensics and Security (TIFS), 2011, 6(1): 14-18.

## 3.4 视频隐写技术典型算法——运动向量域

### ○ 优化嵌入方法

- 运动向量域基本嵌入方法都是根据预设的筛选策略，选择部分运动向量用于隐写修改。它们的主要局限性在于，所采用的筛选策略（例如，运动向量幅值、相位角）和修改方式（例如，将运动向量分量的最低有效比特位替换为秘密信息）都过于简单，无法有效保持运动向量的统计特性，故难以抵抗专用隐写分析方法的攻击。
- 当前，运动向量域优化嵌入方案经历了两个主要发展阶段：
  - 阶段1：利用隐写码，采用自适应筛选策略进行隐藏。
  - 阶段2：不仅利用了高性能隐写码提高嵌入效率，还在隐写修改过程中尽可能保持被扰动运动向量的局部最优，进一步增强隐写安全性。



## 3.4 视频隐写技术典型算法——运动向量域

### ○ 优化嵌入方法

#### ● 阶段1：利用隐写码，采用自适应筛选策略进行隐藏。

- 例：基于最小化运动向量统计分布和帧间预测误差扰动的嵌入方案<sup>[1]</sup>
- “对运动向量进行调制修改会破坏时空域相邻运动向量之间的相关性”这一假设，可作为运动向量域隐写分析特征的设计依据之一。基于此，运动向量隐写代价函数需要考虑嵌入操作对运动向量统计分布造成的影响，尤其是对时空域相邻运动向量之间的相关性造成的扰动。可采用共生矩阵（Co-occurrence Matrix）对时空域相邻运动向量的相关性进行建模。
- 给定第 $t$ 个帧间编码视频帧，设其包含 $H \times W$ 个帧间编码块，则该帧所有运动向量的水平分量和垂直分量可分别组成维度为 $H \times W$ 的矩阵  $\mathbf{MVX}_t$  和  $\mathbf{MVY}_t$ 。基于它们，定义空域、时域相邻运动向量的多方向差分运算，并计算共生矩阵，可对隐写修改造成的“运动向量统计分布扰动（SDC）”进行量化。
- 同时，量化嵌入操作对“运动向量相应帧间预测误差扰动（PEC）”为：运动向量进行调制前后，帧间编码视频帧中的运动向量对应的帧间预测误差的变化量。
- 最终的代价函数为：以自定义参数对SDC与PEC进行融合。

[1] Yao Y, Zhang W, Yu N, et al. Defining embedding distortion for motion vector-based video steganography. Multimedia Tools and Applications (MTA), 2015, 74(24): 11163-11186.

## 3.4 视频隐写技术典型算法——运动向量域

### ○ 优化嵌入方法

- **阶段2**：不仅利用了高性能隐写码提高嵌入效率，还在隐写修改过程中尽可能保持被扰动运动向量的局部最优，进一步增强隐写安全性。
- **例**：基于运动向量局部最优保持的嵌入方案
- 在 Wang 等<sup>[1]</sup>的工作中，他们建立了基于 SAD 的运动向量局部最优判定准则，设计了名为 AoSO (Adding or Subtracting One) 的 18 维隐写分析特征，针对运动向量域基本嵌入方法和第一阶段优化嵌入方法，达到了良好的检测效果。
- 根据基于 SAD 的运动向量局部最优判定准则，对于一个从压缩视频中提取的运动向量  $\mathbf{V}$ ，若其通过以下测试，则被判定为局部最优。首先，计算  $\mathbf{V}$  的“环绕 SAD 矩阵”

$$\bullet \mathbf{M}_{\mathbf{V}} = \begin{pmatrix} S_{(h-1,v-1)} & S_{(h,v-1)} & S_{(h+1,v-1)} \\ S_{(h-1,v)} & S_{(h,v)} & S_{(h+1,v)} \\ S_{(h-1,v+1)} & S_{(h,v+1)} & S_{(h+1,v+1)} \end{pmatrix}$$

- 式中， $h$  和  $v$  分别为  $\mathbf{V}$  的水平和垂直分量； $S_{(x,y)}$  表示  $(h,v)$  对应的重建块和  $(x,y)$  指向的预测参考块之间的 SAD。随后，对比  $S_{(h,v)}$  和  $\mathbf{M}_{\mathbf{V}}$  中的其他元素，若  $S_{(h,v)}$  最小，则将  $\mathbf{V}$  判定为局部最优运动向量。

[1] Wang K, Zhao H, Wang H. Video steganalysis against motion vector-based steganography by adding or subtracting one motion vector value. IEEE Transactions on Information Forensics and Security (TIFS), 2014, 9(5): 741-751.



## 3.4 视频隐写技术典型算法——运动向量域

### ○ 优化嵌入方法

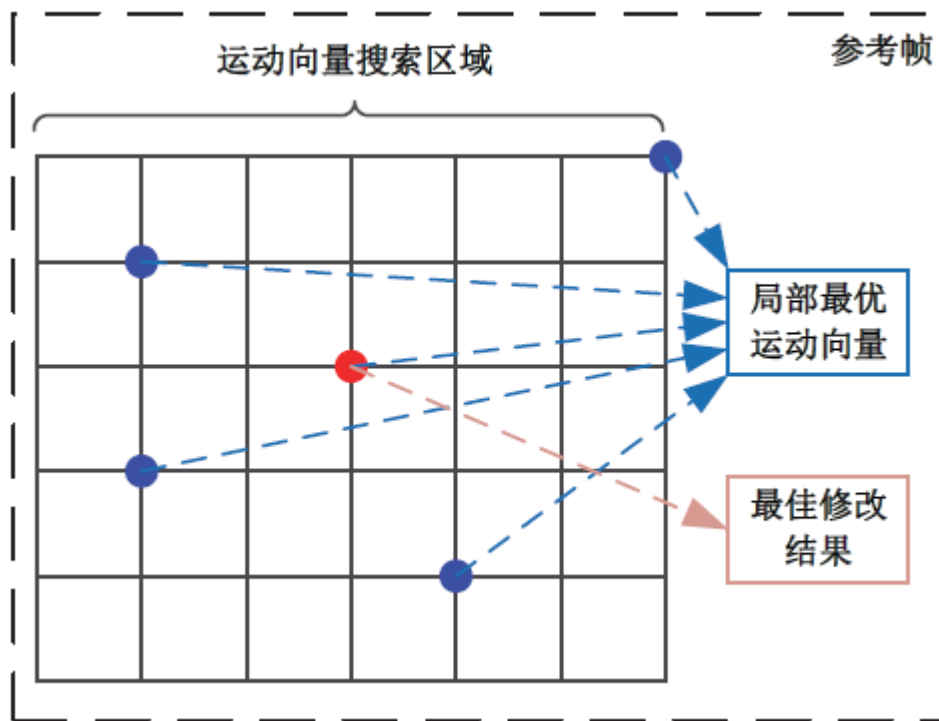
- **阶段2:** 不仅利用了高性能隐写码提高嵌入效率, 还在隐写修改过程中尽可能保持被扰动运动向量的局部最优, 进一步增强隐写安全性。
- **例:** 基于运动向量局部最优保持的嵌入方案
- Zhang等<sup>[1]</sup>同样基于视频压缩编码引起的“环绕 SAD 矩阵”的不确定性, 提出一种确保被修改后运动向量仍被判定为局部最优的嵌入方案 MVMPLO (Motion Vector Modification with Preserved Local Optimality)。
- 具体步骤为:
  - **步骤1:** 在与运动向量 $\mathbf{V}$ 相应的候选运动向量搜索区域 $\mathbf{S}_{\mathbf{V}}$ 中, 筛选出所有满足 $\mathcal{P}(\mathbf{V}') \neq \mathcal{P}(\mathbf{V})$ 的候选运动向量, 即 $\mathcal{K} = \{\mathbf{V}' | \mathbf{V}' \in \mathbf{S}_{\mathbf{V}}, \mathcal{P}(\mathbf{V}') \neq \mathcal{P}(\mathbf{V})\}$ , 其中 $\mathcal{P}$ 表示预设的奇偶校验函数;
  - **步骤2:** 对于 $\mathcal{K}$ 中的每个运动向量, 分别计算相应的“环绕 SAD 矩阵”以判断其是否为局部最优, 从而得到局部最优运动向量组成的集合 $\tilde{\mathcal{K}} = \{\mathbf{V}' | \mathbf{V}' \in \mathcal{K}, \mathbf{S}_{\mathbf{V}'} = \{\mathbf{M}_{\mathbf{V}'}\}_{\min}\}$ , 其中 $\{\mathbf{M}_{\mathbf{V}'}\}_{\min}$ 表示运动向量 $\mathbf{V}'$ 所对应“环绕 SAD 矩阵” $\mathbf{M}_{\mathbf{V}'}$ 中的最小值;
  - **步骤3:** 分别计算 $\tilde{\mathcal{K}}$ 中每个被判定为局部最优的运动向量对应的率失真代价, 定义STCs码的代价函数为率失真代价变化并进行嵌入, 即选择判定为局部最优、且对视频编码性能影响较小的运动向量为最终修改结果。

[1]Zhang H, Cao Y, Zhao X. Motion vector-based video steganography with preserved local optimality. Multimedia Tools and Applications (MTA), 2016, 75(21): 13503-13519.

### 3.4 视频隐写技术典型算法——运动向量域

#### ○ 优化嵌入方法

- **阶段2：** 不仅利用了高性能隐写码提高嵌入效率，还在隐写修改过程中尽可能保持被扰动运动向量的局部最优，进一步增强隐写安全性。
- **例：** 基于运动向量局部最优保持的嵌入方案



## 3.5 视频隐写技术典型算法——变换系数域

### ○按照秘密信息的嵌入域

- 帧内预测模式 (Intra Prediction Mode, Intra-PM) 域
- 帧间预测模式 (Inter Prediction Mode, Inter-PM) 域
- 运动向量 (Motion Vector, MV) 域
- 变换系数 (Transform Coefficient) 域
- 量化参数 (Quantization Parameter, QP) 域
- 熵编码 (Entropy Coding) 域
- 编码块模式 (Coded Block Pattern, CBP) 域
- 其他

## 3.5 视频隐写技术典型算法——变换系数域

### ○基本嵌入方法

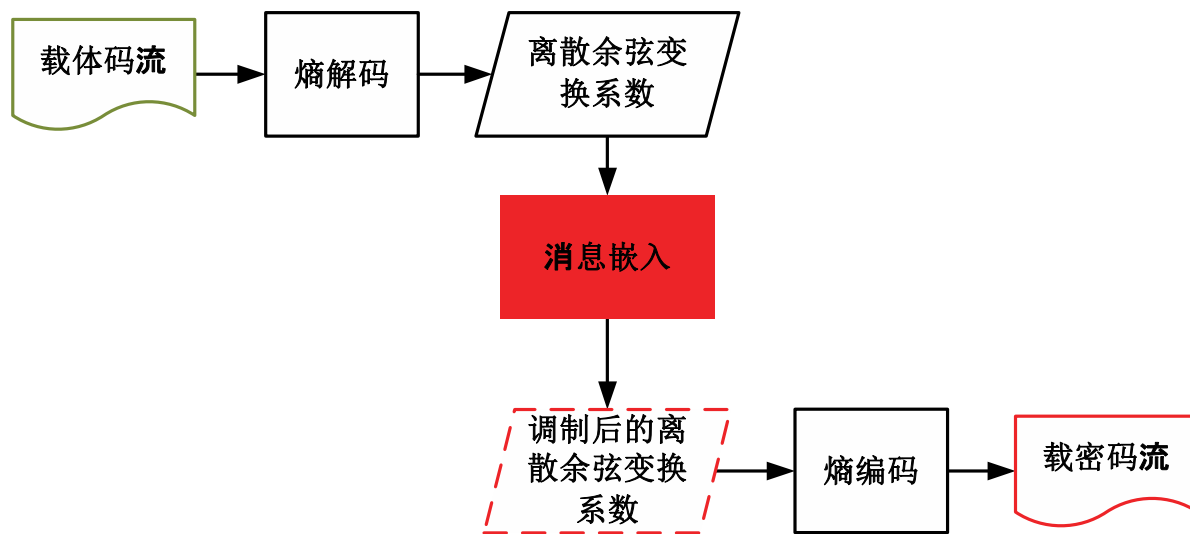
- 基于变换系数的视频隐写算法通常通过调制离散余弦变换（Discrete Cosine Transform, DCT）系数来实现秘密消息的嵌入。首先，离散余弦变换系数在主流的 H.264/AVC 视频或 H.265/HEVC 视频压缩码流中占比大，在负载能力方面具有较大优势；其次，现有很多先进的压缩图像（如，JPEG 图片）信息隐藏算法都是基于离散余弦变换系数设计的，这对视频信息隐藏算法的设计具有很好的借鉴作用。
- 根据嵌入机制的不同，基于离散余弦变换系数调制的视频隐写可以分为两大类：
  - 类1：基于半解码的离散余弦变换系数调制；
  - 类2：基于重编码的离散余弦变换系数调制。

## 3.5 视频隐写技术典型算法——变换系数域

### ○ 基本嵌入方法

#### ● 类1：基于半解码的离散余弦变换系数调制

- 首先，部分解码（熵解码）视频获取离散余弦变换系数，对系数进行修改，然后直接将修改后的系数重新熵编码为压缩码流。这种设计思路的优点是实现简单，由于避免了压缩编码中开销最大的运动搜索过程，这一类算法对硬件性能要求低，并且能够很好地满足实时性处理要求。
- 这类方法的最大的问题在于“失真漂移”（Distortion Drift）。即如果随意地对压缩视频的离散余弦变换系数进行修改，那么在解码时由于系数嵌入引入的误差会不断累积，从而严重影响后续重建块的视觉质量，甚至造成解码失败。



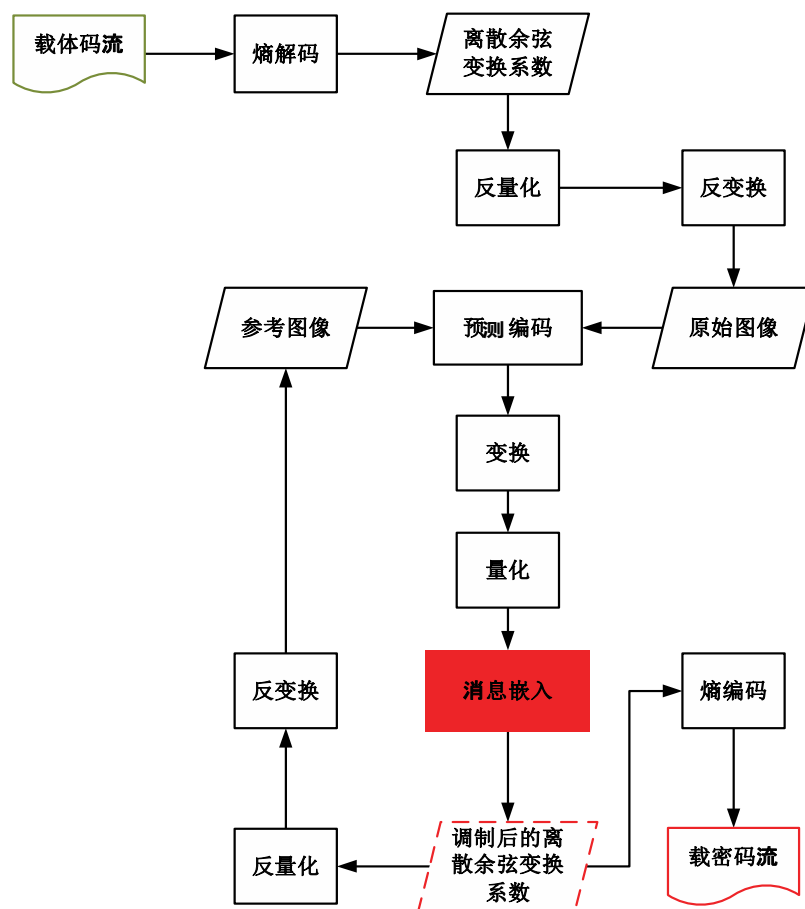
## 3.5 视频隐写技术典型算法——变换系数域

### 基本嵌入方法

#### 类2：基于重编码的离散余弦变换系数调制

- 在未经压缩的视频进行压缩编码、或压缩视频还原为未经压缩的视频并重新进行压缩编码的过程中实施对离散余弦变换系数的修改。这一类方法虽然需要更多的时间和空间开销，但理论上可以完全避免“失真漂移”现象的产生。

- 这类方法的最大的问题在于“代价漂移”（Cost Drift）。与图像调制离散余弦变换系数不同，压缩视频调制的离散余弦变换系数不满足块间相互独立的性质，这导致在嵌入过程中对当前元素的修改会改变后续元素的嵌入代价。



## 3.5 视频隐写技术典型算法——变换系数域

### ○ 优化嵌入方法

- 针对基本嵌入方法的“失真漂移”和“代价漂移”的问题，研究者们提出了一些变换系数域的优化嵌入方法。
- 例如，Ma等<sup>[1]</sup>提出的基于耦合系数对（每个耦合系数对由两个离散余弦变换系数组成）的优化嵌入方法。为了控制失真，对帧内预测的参考元素，即  $4 \times 4$  块最上、最下行及最左、最右列元素的调制误差分别进行归零假设。若调制耦合系数对中的一个系数  $c_a$ ，则对另一个系数  $c_b$  进行补偿。具体包括以下步骤：
  - **步骤1**：对原始 H.264 视频进行熵解码处理得到离散余弦变换系数，选择 DC 直流系数超过自定义阈值的亮度  $4 \times 4$  块做为待嵌入块。
  - **步骤2**：选定耦合系数对，根据待嵌入信息比特对其中一个系数应用最低有效比特位替换修改。
  - **步骤3**：针对已经发生的修改，对耦合系数对中的另一个系数进行补偿。若先前系数  $c_a$  加1，则补偿系数  $c_b$  减1，反之若先前系数  $c_a$  减1，则补偿系数  $c_b$  加1。
- 特别需要指出的，若要根据类似以上方法避免“失真漂移”问题，一般无法自由选择嵌入位置，无法适用基于 STCs 的代价最小化嵌入模型。

[1]Ma X, Li Z, Tu H, et al. A data hiding algorithm for H.264/AVC video streams without intra-frame distortion drift. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology (TCSVT), 2010, 20(10): 1320-1330.

### 3.6 视频隐写技术典型算法——量化参数域

#### ○按照秘密信息的嵌入域

- 帧内预测模式 (Intra Prediction Mode, Intra-PM) 域
- 帧间预测模式 (Inter Prediction Mode, Inter-PM) 域
- 运动向量 (Motion Vector, MV) 域
- 变换系数 (Transform Coefficient) 域
- 量化参数 (Quantization Parameter, QP) 域
- 熵编码 (Entropy Coding) 域
- 编码块模式 (Coded Block Pattern, CBP) 域
- 其他



## 3.6 视频隐写技术典型算法——量化参数域

### ○ 基本嵌入方法

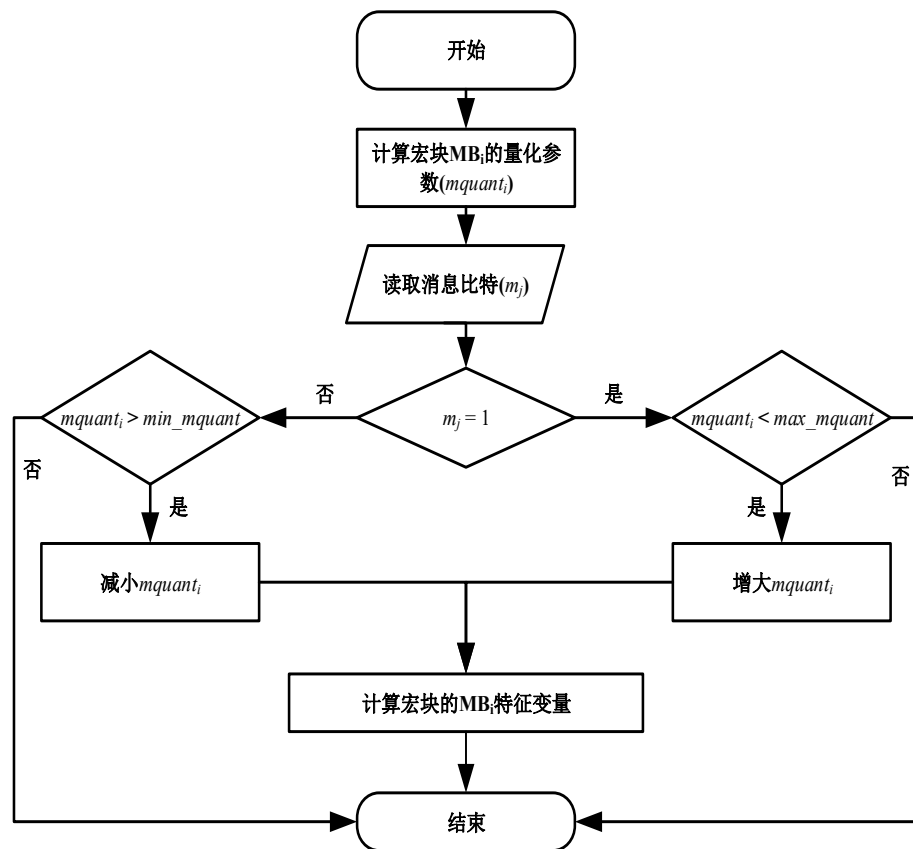
- Wong等<sup>[1]</sup>提出了一种名为次优直方图保持（Sub-optimal Histogram Preserving, SHP）的量化参数调制嵌入算法，通过在嵌入过程中保持量化参数次优分布，减少了分布扰动和修改操作的可追溯性。
- 利用量化参数（取值范围为 1-31 之间的整数）进行嵌入的优点在于：首先，直接修改码流中条带头部信息的5比特量化参数保留字段，不需要进行重编码，亦不会导致视频文件大小的变化。其次，在量化参数调制后，宏块中的DCT系数和运动向量之间的相对关系会被完整保留，因此可以基本保持隐写视频的视觉质量。最后，因为量化参数与运动向量、量化DCT系数相互独立，所以可以同时有多域嵌入以提升负载率。

[1]Wong K, Tanaka K. A data hiding method using mquant in MPEG domain. The Journal of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan, 2008, 37(3): 256-267.

## 3.6 视频隐写技术典型算法——量化参数域

### 基本嵌入方法

- Shanableh等<sup>[1]</sup>也提出了一种基于量化参数调制的视频隐写方法，其方法流程图如图所示。
- 在嵌入阶段，对于每个已编码的宏块，其量化参数 $mquant_i$ 根据待嵌入消息进行调整。如果嵌入的消息为0且 $mquant_i$ 大于最小量化参数值 $min\_mquant$ ，则减小 $mquant_i$ ；如果嵌入的消息为1且 $mquant_i$ 小于最大量化参数值 $max\_mquant$ ，则增大 $mquant_i$ ；如果 $mquant_i$ 与 $min\_mquant$ 或 $max\_mquant$ 相等，则不进行修改。



[1] Shanableh T. Data hiding in MPEG video files using multivariate regression and flexible macroblock ordering. IEEE Transactions on Information Forensics and Security (TIFS), 2012, 7(2): 455464.

## 3.7 视频隐写技术典型算法——熵编码域

### ○按照秘密信息的嵌入域

- 帧内预测模式 (Intra Prediction Mode, Intra-PM) 域
- 帧间预测模式 (Inter Prediction Mode, Inter-PM) 域
- 运动向量 (Motion Vector, MV) 域
- 变换系数 (Transform Coefficient) 域
- 量化参数 (Quantization Parameter, QP) 域
- 熵编码 (Entropy Coding) 域
- 编码块模式 (Coded Block Pattern, CBP) 域
- 其他

## 3.7 视频隐写技术典型算法——熵编码域

### ○ 基于拖尾系数的嵌入方法

- 基于拖尾系数的嵌入方法主要通过改变CAVLC中拖尾系数的数量或符号来嵌入秘密消息。
- Kim<sup>[1]</sup>等提出了将消息比特嵌入在CAVLC中拖尾系数的符号位。在CAVLC的五种语法元素中，拖尾系数的符号信息可以用于隐写，因为拖尾系数符号的改变不会影响CAVLC的后续编码。该方法通过改变最后一个拖尾系数的符号嵌入信息，如果该分块的拖尾系数个数小于或等于1则跳过。此方法不仅通过调制较高频的系数，使得隐写视频保持了良好的视觉质量，而且没有改变编码结构，不会导致隐写视频的码率发生变化。

[1] Kim S M, Kim S B, Hong Y, et al. Data hiding on H.264/AVC compressed video//Proceedings of the 4th International Conference Image Analysis and Recognition, ICIAR'07. Montreal: Springer, 2007: 698707.

## 3.7 视频隐写技术典型算法——熵编码域

### ○ 基于拖尾系数的嵌入方法

- Li 等<sup>[1]</sup>提出类似方法，因为基于帧间预测的隐写算法可以取得较高的视频质量，而CAVLC域隐写通常不影响视频比特率，且两种嵌入域之间互不影响。为了更好地平衡视频质量和比特率变化程度，提高嵌入容量，文献将这两种嵌入方法结合，同时在两个域中嵌入信息。各个域中嵌入数据的比例可以根据不同的应用环境进行调整。当需要高质量的视频时，主要在帧间编码域进行编码。当有严格的比特率要求时，主要在CAVLC域中嵌入消息。
- Liao<sup>[2]</sup>等提出的隐写算法同样利用了拖尾系数来嵌入秘密消息。该算法通过调制标识变换系数块中拖尾系数的数量的字段T1来嵌入密息。其映射规则可以表示为下式，其中 $\omega$ 表示当前待嵌入的密息比特。

$$T1 = \begin{cases} 2, & \omega = 0, T1 = 3 \\ 1, & \omega = 1, T1 = 2 \text{ 或 } \omega = 1, T1 = 0 \\ 0, & \omega = 0, T1 = 1 \\ \text{不修改}, & \text{其他} \end{cases}$$

[1] Li X, Chen H, Wang D, et al. Data hiding in encoded video sequences based on H.264//Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Science and Information Technology, ICCSIT'10. Chengdu: IEEE, 2010: 121125.

[2] Liao K, Lian S, Guo Z, et al. Efficient information hiding in H.264/AVC video coding. Telecommunication Systems, 2012, 49(2): 261269.

## 3.7 视频隐写技术典型算法——熵编码域

### ○ 基于码字替换的嵌入方法

- Lin<sup>[1]</sup>等提出了一种码字替换的嵌入算法，该算法选择长度大于阈值的level-suffix码字作为嵌入域，将满足长度要求的level-suffix码字中的部分比特位替换成待嵌入的消息比特实现隐写。这类方法保持了视频比特率的稳定，且使得嵌入产生的偏移误差在可控的范围之内。
- Niu<sup>[2]</sup>等通过结合基于拖尾系数的嵌入算法和基于码字替换的嵌入算法，提出了一种新的嵌入算法。该方案直接将 $4 \times 4$ 残差数据块作为嵌入域，调制码字，使得嵌入算法具有更大的容量，且不影响视频的比特率。同时，该方案只修改高频系数对应码字，使得算法具有较好的不可感知性。

[1] Lin Y, Hsu I. CAVLC codewords substitution for H.264/AVC video data hiding//Proceedings of the 26th IEEE International Conference on Consumer Electronics, ICCE'14. Las Vegas: IEEE, 2014: 492493.

[2] Niu K, Zhong W. A video steganography scheme based on H.264 bitstreams replaced//Proceedings of the 4th International Conference on Software Engineering and Service Science, ICSESS'13. Beijing: IEEE, 2013: 447450.

## 3.7 视频隐写技术典型算法——熵编码域

### ○ 基于非零系数修改的嵌入方法

- 基于非零系数修改的嵌入方法主要通过修改分块的非零量化AC系数以嵌入消息。Lin等<sup>[1]</sup>提出自适应截断4×4分块的最后一个非零量化AC系数以嵌入秘密信息，具体的嵌入规则如公式所示：

$$AC_n = \begin{cases} AC_n, & \text{LSB(NumAC}_i) = w_i \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

式中，NumAC<sub>i</sub>为当前分块中非零量化AC系数的个数；AC<sub>n</sub>表示分块量化AC系数ZigZag扫描序列的最后一个非零AC系数；w<sub>i</sub>为待嵌入的消息比特。

- 上述嵌入规则可以描述为：若分块中非零量化AC系数个数的奇偶性与待嵌入消息的奇偶性一致，则不修改，否则截断最后一个非零量化AC系数使两者的奇偶性保持一致。若分块中所有的量化AC系数值全为0，则将嵌入方案调整如公式所示：

$$AC_0 = \begin{cases} AC_0, & w_i = 0 \\ 1, & \text{其他} \end{cases}$$

- 在消息提取时，只需要根据当前分块中非零量化AC系数的个数NumAC'<sub>i</sub>的奇偶性就可以提取出秘密消息。

[1] Lin S D, Chuang C Y, Chen M J. A CAVLC-based video watermarking scheme for H.264/AVC codec. International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC), 2011, 7(11): 63596367.



### 3.8 视频隐写技术典型算法——编码块模式

#### ○按照秘密信息的嵌入域

- 帧内预测模式 (Intra Prediction Mode, Intra-PM) 域
- 帧间预测模式 (Inter Prediction Mode, Inter-PM) 域
- 运动向量 (Motion Vector, MV) 域
- 变换系数 (Transform Coefficient) 域
- 量化参数 (Quantization Parameter, QP) 域
- 熵编码 (Entropy Coding) 域
- 编码块模式 (Coded Block Pattern, CBP) 域
- 其他

## 3.8 视频隐写技术典型算法——编码块模式

### ○CBP原理介绍

- H.264/AVC 标准中定义了H.264/AVC 语法，并在语法元素方面指定了与H.264/AVC 兼容的二进制流的确切结构。根据H.264/AVC 语法规则，编码块模式（Coded Block Pattern, CBP）是一种语法元素，它存在于不使用 $16 \times 16$  帧内预测模式编码的宏块中。它包含在宏块层中，表示宏块中的亮度块和色度块是否包含非零变换系数。CBP 可以表示为一个6位二进制数，对应十进制取值范围在0到47之间。
- 可以将CBP 表示为 $b_5b_4b_3b_2b_1b_0$ ，其中 $b_i$  ( $i = 0, 1, \dots, 5$ ) 表示一个二进制数字，其方式如下：
  - CBP 中的4 个最低有效比特位（Least Significant Bit, LSB），即 $b_i$  ( $i = 0, 1, 2, 3$ )，表示在对应的 $8 \times 8$ 亮度块中是否存在一个或多个非零变换系数。
  - CBP 中的2 个最高有效比特位（Most Significant Bit, MSB） $b_5$  和 $b_4$  与色度变换系数相关。
- 宏块的残差数据根据相应的CBP 进行传输。如果CBP 标识某分块不包含非零系数，那么该分块将被跳过。

## 3.8 视频隐写技术典型算法——编码块模式

### ○基本算法介绍

- Zhang<sup>[1]</sup>等提出了一种基于CBP域的隐写方法。首先将视频流的所有CBP字段定义为 $\mathbf{C} = (C_1, C_2, \dots, C_N)$ ，其中 $C_i$ 的长度为6比特，其中最低4比特 $c_j (j = 1, 2, 3, 4)$ 标识亮度分块，最高2比特标识色度分块。利用奇偶校验函数 $P(\mathbf{C}) = \bigoplus_{i=0}^3 C_i$ 将CBP字段 $\mathbf{C}$ 映射到 $\mathbf{p} = (p_1, p_2, \dots, p_N)$ 平面，其中 $p_i = P(C_i)$ 。假设 $\mathbf{p}$ 元素之间的修改都是相互独立的，该方法为每个 $p_i$ 计算修改失真 $\gamma_i$ ，采用STCs实现最小失真嵌入。

- 失真函数 $\Psi(C_i, c_j)$ 被定义为视觉质量和比特率变化程度的结合

$$\Psi(C_i, c_j) = |J(\mathbf{S}, \mathbf{S}_{rec}, R) - J(\mathbf{S}, \mathbf{S}'_{rec}, R')|$$

式中， $\mathbf{S}$ 定义了 $C_i$ 对应的原始宏块； $\mathbf{S}_{rec}$ 和 $\mathbf{S}'_{rec}$ 分别表示未修改的 $c_j$ 和修改后的 $c_j$ 对应的重建宏块； $R$ 和 $R'$ 分别表示当 $c_j$ 未修改和修改后编码 $\mathbf{S}$ 需要的比特数。而 $J$ 定义为：

$$J(\mathbf{A}, \mathbf{B}, R) = D(\mathbf{A}, \mathbf{B}) + \lambda R$$

式中， $D$ 为以原始和重建块之间的残差平方和衡量的视觉质量失真评价指标； $\lambda$ 为控制编码效率与视觉质量的权重。

[1] Zhang H, Cao Y, Zhao X, et al. Data hiding in H.264/AVC video files using the coded block pattern//Proceedings of the 15th International Workshop on Digital forensics and Watermarking, IWDW'16. Beijing: Springer, 2016: 588600.

### 3.9 视频隐写技术典型算法——其他

#### ○按照秘密信息的嵌入域

- 帧内预测模式 (Intra Prediction Mode, Intra-PM) 域
- 帧间预测模式 (Inter Prediction Mode, Inter-PM) 域
- 运动向量 (Motion Vector, MV) 域
- 变换系数 (Transform Coefficient) 域
- 量化参数 (Quantization Parameter, QP) 域
- 熵编码 (Entropy Coding) 域
- 编码块模式 (Coded Block Pattern, CBP) 域
- 其他

## 3.9 视频隐写技术典型算法——其他（共享软件）

### ○MSU StegoVideo

- MSU StegoVideo是一款能够在AVI格式视频中隐藏任意格式的数字文件的隐写软件，该软件由莫斯科国立大学图形与媒体实验室下的视频小组开发，并于2006年首次推出。MSU StegoVideo采用了一种抗压缩能力较强的隐藏算法，同时使用了维特比（Viterbi）卷积码对秘密信息进行纠错编码，是一款可以有效抵抗压缩攻击的公开视频隐写软件。
- MSU StegoVideo 具有如下优势
  - 普适性强。算法基于空域隐写，不涉及压缩编码。故理论上任何视频源都可以用于隐写嵌入，但嵌入前需要进行相应转码。另外，嵌入强度可调节，能够较好满足用户对鲁棒性的要求。
  - 算法复杂度低。嵌入和提取复杂度较低，能够满足实时性处理要求。
  - 易用性好。软件界面简洁友好，无需复杂参数设置。
- MSU StegoVideo 具有如下缺点
  - 仅支持AVI 格式视频文件。由于算法需要在AVI 文件头嵌入少量辅助信息，暂不支持其他输入格式的视频文件。
  - 该软件所用算法不公开，开发团队对软件版本的更新升级缓慢。

## 3.9 视频隐写技术典型算法——其他（共享软件）

### ○MSU StegoVideo

- 通过对嵌入后的载密视频与原始视频YUV序列的差值图像进行观察分析发现，隐写视频与原始视频帧的Y（亮度）分量差异帧从视觉上看存在棋盘格的分布特征，然而U和V分量中并没有发现这种分布特征，由此可推知该软件仅在视频帧的Y分量中嵌入秘密消息。
- MSU StegoVideo构造了一种特殊的 $32 \times 32$ 大小的嵌入分布模式，其中的4个 $16 \times 16$ 块构成了一种棋盘格分布模式，根据棋盘格中黑/白块的分布，可以分成图中所示的两种棋盘格分布。MSU StegoVideo采用这种棋盘格式的嵌入模式可以增强算法的鲁棒性，提高载密文件的抗压缩处理能力。
- 进一步观察和分析发现，MSU StegoVideo中的棋盘格模式按照 $32 \times 32$ 采样点面积顺序紧密排列，而MSU软件会对棋盘格边界进行细微的自适应调整，使其算法隐蔽性进一步加强，同时在一定程度上减弱嵌入引起的块效应。

## 3.9 视频隐写技术典型算法——其他（共享软件）

### ○OpenPuff

- OpenPuff是一款支持图像、视频、音频等多种载体类型的信息隐藏软件，实用性非常强，甚至可以将同一段信息分段嵌入到不同载体中。OpenPuff通过修改文件冗余格式字段来进行信息隐藏，是互联网上下载量较大的一款信息隐藏软件。OpenPuff的信息隐藏模块可以利用硬件随机发生器 CSPRNG，采用3组线性相关性较低的密钥对明文信息进行三重扰乱加密后再嵌入，拥有隐写和加密双重安全保障。
- 通过对原始视频与含密载体视频对比发现：OpenPuff采用的隐写嵌入算法与水印嵌入算法相同，区别在于隐写时会首先对秘密信息进行加密和置乱，而打水印时则直接嵌入明文；OpenPuff在以MPEG、VOB、FLV、MP4、3GP、MOV等格式视频为载体进行嵌入时，均采用了修改文件冗余格式字段的方法。这意味着可以通过对待检测视频的相关文件格式字段进行分析，来对视频是否经过了OpenPuff隐写进行判断，甚至在弱密钥的情况下能够实现对嵌入消息的提取。



## 3.9 视频隐写技术典型算法——其他（多嵌入域）

### ○ 基于多嵌入域的视频隐写算法

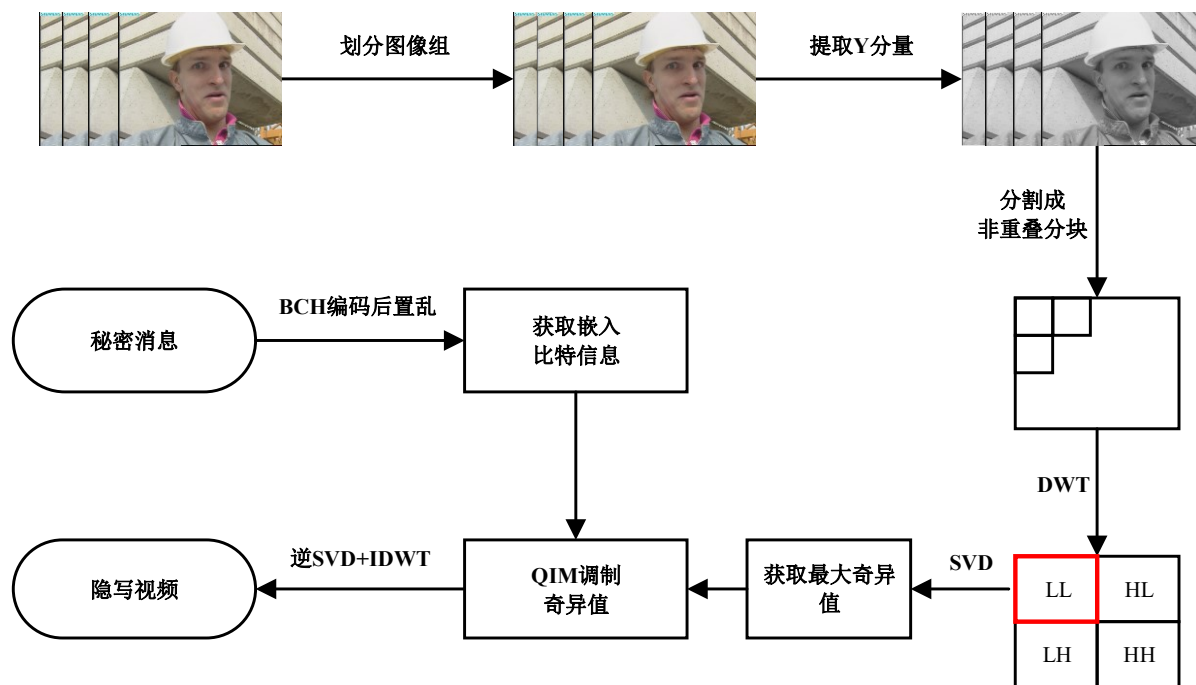
- 目前视频隐写算法大多聚焦于单一的嵌入域上，无法有效利用其他嵌入域。单一嵌入域隐写算法具有负载率较低的缺点，基于多嵌入域实现的视频隐写算法是未来的发展方向之一。
- 多域视频嵌入的算法设计与实现，主要困难在于各个嵌入域之间的相互影响。即表现为修改一种码流语法元素会导致其他码流语法元素也会相应地被改变。基于上述问题，Zhai等<sup>[1]</sup>优选了帧间划分模式与运动向量两种嵌入域，提出一种双嵌入域隐写算法。该算法可通过顺序嵌入和同步嵌入来实现秘密信息的嵌入。
  - **顺序嵌入**：首先修改某个块的划分模式来嵌入密息，待该块的划分模式确定后，再修改运动向量进行第二次嵌入。文章认为，调制划分模式会对相应的运动向量产生影响，反之则不会。
  - **同步嵌入**：只改变某个块的划分模式或运动向量，以避免两个嵌入域的相互影响。

[1]Zhai L, Wang L, Ren Y. Multi-domain embedding strategies for video steganography by combining partition modes and motion vectors//Proceedings of the 19th International Conference on Multimedia and Expo, ICME'19. Shanghai: IEEE, 2019: 1402-1407.

### 3.9 视频隐写技术典型算法——其他（空域鲁棒）

#### 空间域鲁棒隐写

- Guan等<sup>[1]</sup>提出的基于自适应奇异值调制（Singular Value Decomposition, SVD）的抗转码视频隐写算法。该方法首先结合了视频压缩编码特性，提出DWT-SVD域的自适应嵌入框架。在此框架下，设计了基于块亮度和纹理复杂度的自适应步长调整策略。最后针对隐写嵌入产生的块效应和闪烁效应，提出了一种减轻视觉闪烁的方法。



[1]管萌萌, 曹纭, 张怡暄, 等. 基于自适应奇异值调制的抗转码视频隐写算法. 信息安全学报, 2018, 3(6): 4254.

## 3.9 视频隐写技术典型算法——其他（空域鲁棒）

### ○ 空间域鲁棒隐写

- 为了使嵌入方法具有良好的不可见性和较强的鲁棒性，通常需要考虑人眼的视觉特征。即在保证不可见性的基础上，自适应改变SVD的量化步长，兼顾鲁棒性和视觉质量保持方面的需求。
- 主要根据图像亮度、纹理复杂度确定每一个视频帧分块的量化步长，在保证鲁棒性的同时缓解了分块效应。此外，通过设立调整平滑帧，对相邻消息帧之间的亮度跳变进行缓冲，缓解了帧间闪烁的现象。
- 该方法较之前的算法相比不仅提供了充足的嵌入容量，并且在鲁棒性和安全性方面得到了很大提升。实验表明，该算法甚至能够抵抗视频转码攻击，是一种适用于社交网络平台的鲁棒视频隐写算法。

## 内容提纲（3节课内容）

### 1. 视频隐写技术

- 视频编码基础简要回顾
- 视频隐写技术概述
- 视频隐写技术典型算法
- 小结

### 2. 视频隐写分析技术

- 视频隐写技术简要回顾
- 视频隐写分析技术概述
- 视频隐写分析技术典型算法
- 小结

## 4 小结

### ○ 视频编码基础简要回顾

- 视频编码框架
- 常见压缩域

### ○ 视频隐写技术概述

- 视频隐写技术分类
- 视频隐写技术基本性质
- 视频隐写技术发展现状

### ○ 视频隐写技术典型算法

- 帧内预测模式域
- 帧间预测模式域
- 运动向量域
- 变换系数域
- 量化参数域
- 编码块模式域
- 其他域

## 内容提纲（3节课内容）

### 1. 视频隐写技术

- 视频编码基础简要回顾
- 视频隐写技术概述
- 视频隐写技术典型算法
- 小结

### 2. 视频隐写分析技术

- 视频隐写技术简要回顾
- 视频隐写分析技术概述
- 视频隐写分析技术典型算法
- 小结

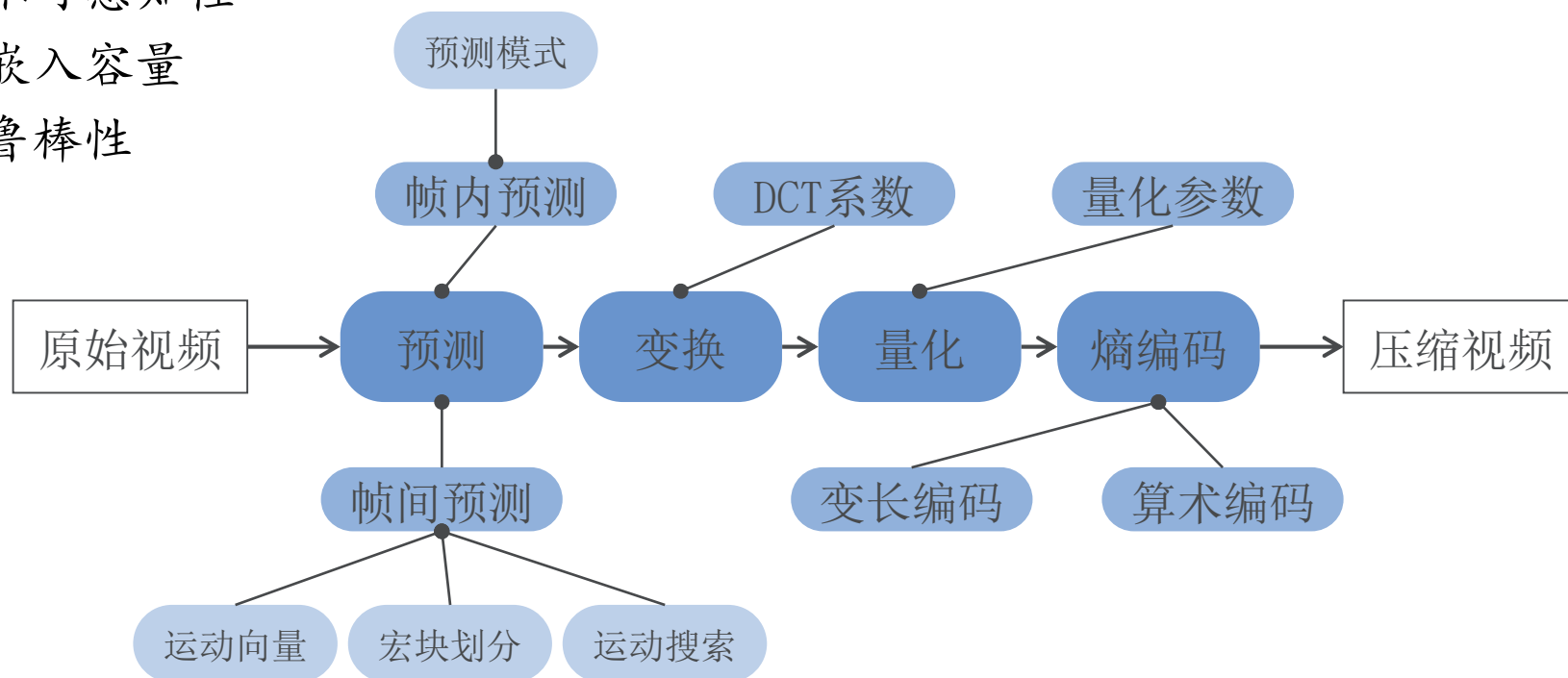
# 1 视频隐写技术简要回顾

## ○ 视频隐写技术分类

- 空域视频隐写
- 压缩域视频隐写
- 格式视频隐写

## ○ 视频隐写技术性质

- 不可感知性
- 嵌入容量
- 鲁棒性





## 内容提纲（3节课内容）

### 1. 视频隐写技术

- 视频编码基础简要回顾
- 视频隐写技术概述
- 视频隐写技术典型算法
- 小结

### 2. 视频隐写分析技术

- 视频隐写技术简要回顾
- 视频隐写分析技术概述
- 视频隐写分析技术典型算法
- 小结

## 2 视频隐写分析技术概述

### ○ 视频隐写分析技术分类（按照秘密信息的嵌入域）

- **空域视频隐写分析：**用于检测视频数据是否存在基于空域视频隐写的隐蔽通信行为。大多数空域视频隐写分析方法借鉴了图像隐写分析领域的经典方法或思想（如空域富模型特征），并配合视频编码等领域知识（如运动补偿）和常用水印攻击方法（如共谋），在此基础上进行隐写分析特征提取。
- **压缩域视频隐写分析：**用于检测视频在压缩编码过程中生成的码流语法元素（Syntax Element）是否被用作秘密信息载体。按照所分析的嵌入域类型，压缩域视频隐写分析包括：帧内预测模式域分析、帧间预测模式域分析、运动向量域分析和变换系数域分析等。相比空域视频隐写分析，压缩域视频隐写分析尚处于较为初级的发展阶段，当前研究主要集中在运动向量域、帧内预测模式域和变换系数域分析上。
- **格式视频隐写分析：**用于检测视频封装格式的保留字段或末尾是否存在秘密信息。该类隐写分析通常根据目标视频的封装格式的技术标准定位其中的保留字段，进而通过检测字段内容是否存在特征码，从而判断其是否经过格式视频隐写处理。

## 2 视频隐写分析技术概述

### ○ 视频隐写分析技术基本性质

- **准确性：**反映分析方法能够正确区分普通非隐写载体和隐写文件的能力，通常采用真阳性率（True Positive Rate）、真阴性率（True Negative Rate）和正确率进行衡量。其中，真阳（阴）性率指被正确分类的隐写（非隐写）样本占有所有隐写（非隐写）测试样本的比例；正确率指被正确分类的样本占有所有测试样本的比例。
- **适用性：**反映分析方法适用于不同类型隐写算法和不同属性媒体文件的能力。现有绝大多数视频隐写分析方法只能检测某种特定嵌入域下的隐写算法（如运动向量域视频隐写）。此外，它们的分析检测性能通常会随待测视频文件的编码参数（如码率控制参数）或属性（如分辨率）的变化而产生不同程度的波动。
- **实用性：**反映分析方法在实际应用场景中的分析检测性能。对于目前几乎所有的隐写分析方法，在实际应用场景下，它们的分析检测性能都会受到载体源失配现象的影响，严重时甚至会恶化到接近随机判决的程度。因此，当前隐写分析方法被普遍认为只适用于实验室环境。如何缓解载体源失配现象以提高隐写分析的实用性，是目前信息隐藏领域亟待解决的难题之一。

## 2 视频隐写分析技术概述

### ○ 视频隐写分析技术发展现状

- 相比日益成熟的图像隐写分析技术，针对视频隐写分析技术的研究起步较晚，尚具有较大研究空间，其发展现状可概括为以下三个方面。
- 现有视频隐写分析技术的体系不够健全。当前研究成果主要集中在空域、运动向量域、帧内预测模式域分析上。针对某些特定类型的视频隐写，尚未有公开发表的文献提出有效的分析检测方法。
- 现有视频隐写分析方法的检测范围有限。目前仅存在针对单一嵌入域的专用（Specific）分析方法，尚缺乏能够有效检测多个嵌入域的通用（Universal）分析方法，导致现有视频隐写分析技术的适用性在一定程度上受到了制约。
- 现有视频隐写分析方法的实用性较低。绝大多数分析方法易受载体源失配现象的影响。主要表现在，当待测视频的码率（Bitrate）、帧率（Frame Rate）、尺寸等编码参数或属性与训练视频样本存在明显差异时，分析方法的检测性能易产生波动，从而难以在先验知识匮乏的实际应用场景下，提供稳定、可靠的隐写分类判决结果。

## 内容提纲（3节课内容）

### 1. 视频隐写技术

- 视频编码基础简要回顾
- 视频隐写技术概述
- 视频隐写技术典型算法
- 小结

### 2. 视频隐写分析技术

- 视频隐写技术简要回顾
- 视频隐写分析技术概述
- 视频隐写分析技术典型算法
- 小结

## 3.1 视频隐写分析技术典型算法分类

### ○按照秘密信息的嵌入域

- 帧内预测模式 (Intra Prediction Mode, Intra-PM) 域
- 帧间预测模式 (Inter Prediction Mode, Inter-PM) 域
- 运动向量 (Motion Vector, MV) 域
- 变换系数 (Transform Coefficient) 域
- 量化参数 (Quantization Parameter, QP) 域
- 熵编码 (Entropy Coding) 域
- 其他

## 3.2 视频隐写分析技术典型算法——帧内预测模式域

### ○按照秘密信息的嵌入域

- 帧内预测模式 (Intra Prediction Mode, Intra-PM) 域
- 帧间预测模式 (Inter Prediction Mode, Inter-PM) 域
- 运动向量 (Motion Vector, MV) 域
- 变换系数 (Transform Coefficient) 域
- 量化参数 (Quantization Parameter, QP) 域
- 熵编码 (Entropy Coding) 域
- 其他



## 3.2 视频隐写分析技术典型算法——帧内预测模式域

### 基于相邻块帧内预测模式关系的隐写分析方法

- Li 等<sup>[1]</sup>认为，对视频帧内预测模式进行调制，将破坏相邻块间帧内预测模式的统计相关性，即改变帧内预测模式在原始视频对于相邻块的共生关系。基于上述假设，他们建立了针对H.264视频中 $4 \times 4$ 亮度块帧内预测模式空间相关性的统计模型，使用马尔可夫过程的状态转移概率来定量表示预测模式的相关性，发掘了由于调制帧内预测模式导致的相关性变化，达到了良好的分析检测效果。
- 左图中表示宏块中16个 $4 \times 4$ 亮度块 $a_{i,j}$  ( $i, j \in \{1, 2, 3, 4\}$ )， $a_{i,j}$ 对应的帧内预测模式记为 $S_{i,j} \in \{0, 1, 2, \dots, 8\}$ 。每个宏块内亮度块帧内预测模式的状态转移概率通过如右图所示的四个遍历路径进行统计。

$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$
$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	$a_{24}$
$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	$a_{34}$
$a_{41}$	$a_{42}$	$a_{43}$	$a_{44}$

$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$
$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	$a_{24}$
$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	$a_{34}$
$a_{41}$	$a_{42}$	$a_{43}$	$a_{44}$

遍历路径a

$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$
$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	$a_{24}$
$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	$a_{34}$
$a_{41}$	$a_{42}$	$a_{43}$	$a_{44}$

遍历路径b

$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$
$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	$a_{24}$
$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	$a_{34}$
$a_{41}$	$a_{42}$	$a_{43}$	$a_{44}$

遍历路径c

$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$
$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	$a_{24}$
$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	$a_{34}$
$a_{41}$	$a_{42}$	$a_{43}$	$a_{44}$

遍历路径d

[1] Li S, Deng H, Tian H, et al. Steganalysis of prediction mode modulated datahiding algorithms in H.264/AVC video stream. Annals of Telecommunications, 2014, 69(7): 461473.

## 3.2 视频隐写分析技术典型算法——帧内预测模式域

### ○ 基于相邻块帧内预测模式关系的隐写分析方法

- **步骤1：一阶马尔可夫模型获取。**对于当前某个 $4 \times 4$ 亮度块帧内预测模式 $S_n \in \{0, 1, 2, \dots, 8\}$ ，获得 $9 \times 9$ 的状态转移矩阵 $\mathbf{P}^1$

$$P_{t,u} = \mathbf{Prob}(S_{n+1} = u | S_n = t)$$

式中， $P_{t,u}$ 表示在某一遍历路径下，相邻块的帧内预测模式，第 $n$ 块为模式 $t$ 的条件下，第 $n+1$ 块为模式 $u$ 的概率； $t, u \in \{0, 1, 2, \dots, 8\}$ 。

- **步骤2：二阶马尔可夫模型获取。**与步骤1类似，获得 $9 \times 9 \times 9$ 的状态转移矩阵 $\mathbf{P}^2$

$$P_{t,u,v} = \mathbf{Prob}(S_{n+1} = u | S_n = t, S_{n-1} = v)$$

式中， $P_{t,u,v}$ 表示在某一遍历路径下，相邻三块的帧内预测模式，第 $n$ 块为模式 $t$ 且第 $n-1$ 块为模式 $v$ 的条件下，第 $n+1$ 块为模式 $u$ 的概率； $t, u, v \in \{0, 1, 2, \dots, 8\}$ 。

## 3.2 视频隐写分析技术典型算法——帧内预测模式域

### ○ 基于相邻块帧内预测模式关系的隐写分析方法

- **步骤3：混合空间相关性模型获取。**为了进一步描述块间帧内预测模式的相关性，获得 $9 \times 9 \times 9 \times 9$ 的多方向状态转移矩阵 $\mathbf{P}^{\text{mix}}$

$$P_{t,u,v,w} = \mathbf{Prob}(S_{n,m} = u \mid S_{n+1,m} = t, S_{n,m+1} = v, S_{n+1,m+1} = w)$$

式中， $P_{t,u,v,w}$ 表示在前图所示相对位置编号下，相邻四块的帧内预测模式，在（1）位置 $(n+1, m)$ 块为模式 $t$ ；（2）位置 $(n, m+1)$ 块为模式 $v$ ；（3）位置 $(n+1, m+1)$ 块为模式 $w$ 的三个条件下，位置 $(n, m)$ 块为模式 $u$ 的概率；  
 $t, u, v, w \in \{0, 1, 2, \dots, 8\}$ 。

- 为了增大可行性，在实际使用中，需使用步骤1、2、3获取的特征并集的子集进行训练和分析。

## 3.2 视频隐写分析技术典型算法——帧内预测模式域

### ○ 基于帧内预测模式校准的隐写分析方法

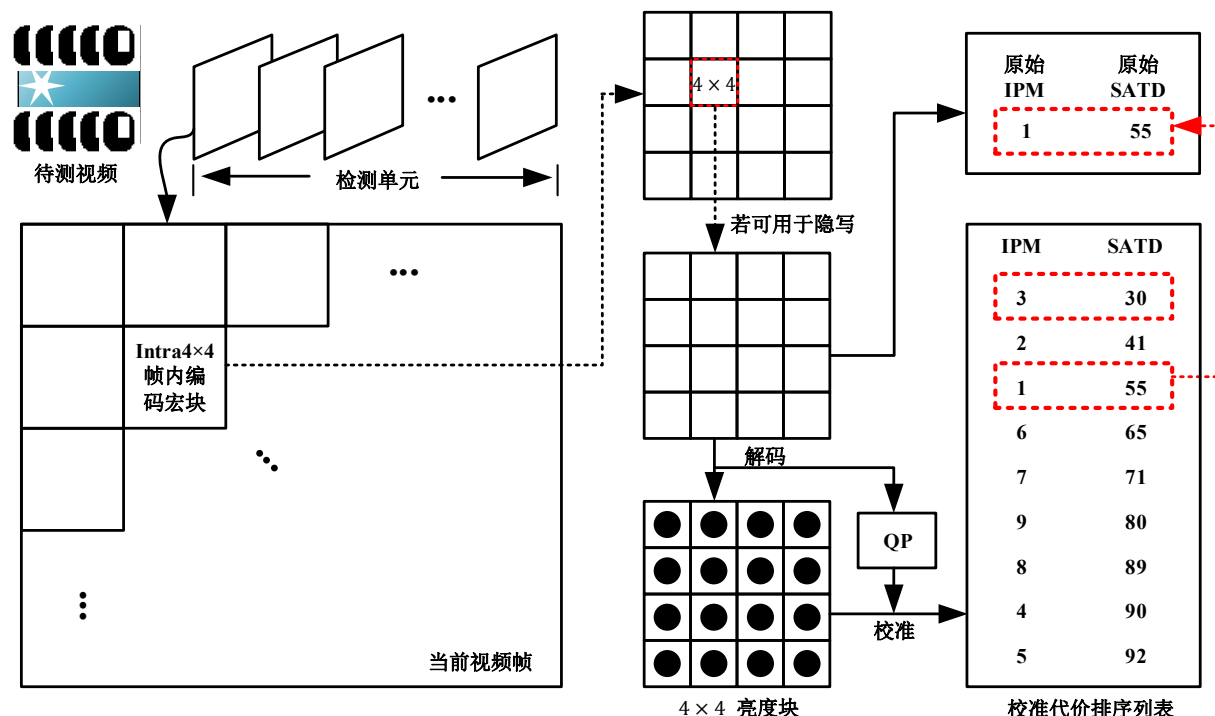
- Zhao等<sup>[1]</sup>认为，对原始帧内预测模式进行扰动修改，将不可避免地破坏其最优状态，即将原始最优帧内预测模式修改为非最优。H.264 载体视频在隐写过程中被修改的帧内预测模式，在视频“校准”（重压缩）后，通常会回复（Reverse）至其原始最优状态；未经修改的 $4 \times 4$ 亮度块帧内预测模式，在视频校准后，一般保持不变。
- 基于上述帧内预测模式回复特性假设，他们提出了名为帧内预测模式校准（Intra Prediction Mode Calibration, IPMC）的专用隐写分析方法，以检测基于 $4 \times 4$ 亮度块帧内预测模式的视频隐写。

[1] Zhao Y, Zhang H, Cao Y, et al. Video steganalysis based on intra prediction mode calibration//Proceedings of the 14th International Workshop on Digitalforensics and Watermarking, IWDW'15. Tokyo: Springer, 2015: 119133.

## 3.2 视频隐写分析技术典型算法——帧内预测模式域

### 基于帧内预测模式校准的隐写分析方法

- 文献采用校准思想，对待测视频中每个可用于隐写的 $4 \times 4$ 帧内预测块，记录其在重压缩时分别采用不同 $4 \times 4$ 亮度块帧内预测模式进行编码对应的SATD代价，进而根据 $4 \times 4$ 亮度块帧内预测模式重压缩前后的状态转移概率和相应SATD代价的变化程度，设计了IPMC隐写分析特征。实验结果表明，IPMC的隐写分析性能优于前述Li等<sup>[1]</sup>的分析方法，能够有效检测现有基于H.264帧内预测模式的视频隐写算法。



[1] Li S, Deng H, Tian H, et al. Steganalysis of prediction mode modulated datahiding algorithms in H.264/AVC video stream. Annals of Telecommunications, 2014, 69(7): 461473.

## 3.2 视频隐写分析技术典型算法——帧内预测模式域

### ○ 基于帧内预测模式校准的隐写分析方法

- **步骤1：预处理。**将待测H.264视频分割为互不重叠的检测单元，每个检测单元由若干连续视频帧组成。
- **步骤2：原始重建亮度块获取。**对于当前检测单元中某个可用于隐写的 $4 \times 4$ 帧内预测模式 $IPM_i (i = 1, 2, \dots, N)$ 块（其中 $N$ 表示当前检测单元中可用于隐写的 $4 \times 4$ 帧内预测模式的数量），解码得到其对应的 $4 \times 4$ 原始重建亮度块 $\mathbf{B}_i^{\text{rec}}$ 。
- **步骤3：校准重建亮度块获取。**基于原始量化参数，采用 $4 \times 4$ 帧内预测模式 $mode_j (j = 1, 2, \dots, 9)$ 对原始重建亮度块 $\mathbf{B}_i^{\text{rec}}$ 重新进行帧内预测编码，并对所得结果进行解码，得到相应的 $4 \times 4$ 校准重建亮度块 $\mathbf{B}_i^{\text{rec}}(mode_j)$ 。

## 3.2 视频隐写分析技术典型算法——帧内预测模式域

### ○ 基于帧内预测模式校准的隐写分析方法

- **步骤4：校准代价获取。**对 $\mathbf{B}_i^{\text{rec}}$ 和 $\mathbf{B}_i^{\text{rec}}(\text{mode}_j)$ 的残差矩阵进行Hadamard变换，并计算变换所得结果中各元素的绝对值之和，即 $\text{SATD}(\mathbf{B}_i^{\text{rec}}, \mathbf{B}_i^{\text{rec}}(\text{mode}_j))$ ，将其作为 $\text{IPM}_i$ 采用 $\text{mode}_j$ 进行校准对应的校准代价。在此基础上，将 $\text{IPM}_i$ 在9种 $4 \times 4$ 亮度块帧内预测模式下的校准代价进行升序排列，构成列表 $\mathbf{C}_i^{\text{SATD}}$ 。
- **步骤5：类型1子特征 $f^1$ 提取。** $f^1$ 的每个特征表示给定 $k$ 时 $\text{SATD}(\mathbf{B}_i^{\text{rec}}, \mathbf{B}_i^{\text{rec}}(\text{IPM}_i))$ 和 $\mathbf{C}_i^{\text{SATD}}(k)$ 相等的概率。
- **步骤6：类型2子特征 $f^2$ 提取。** $f^2$ 的每个特征表示给定 $k$ 时 $\text{SATD}(\mathbf{B}_i^{\text{rec}}, \mathbf{B}_i^{\text{rec}}(\text{IPM}_i))$ 和 $\mathbf{C}_i^{\text{SATD}}(l)$ 之间的差异程度。
- **步骤7：特征合并。**将类型1子特征 $f^1$ 和类型2子特征 $f^2$ 合并，得到13维隐写分析特征集 $\mathcal{F}$ 。
- **步骤8：后续处理。**在当前待测视频中，定位某一尚未提取特征的检测单元，依次执行上述步骤2至7，直至所有检测单元的特征提取完毕。



### 3.3 视频隐写分析技术典型算法——帧间预测模式域

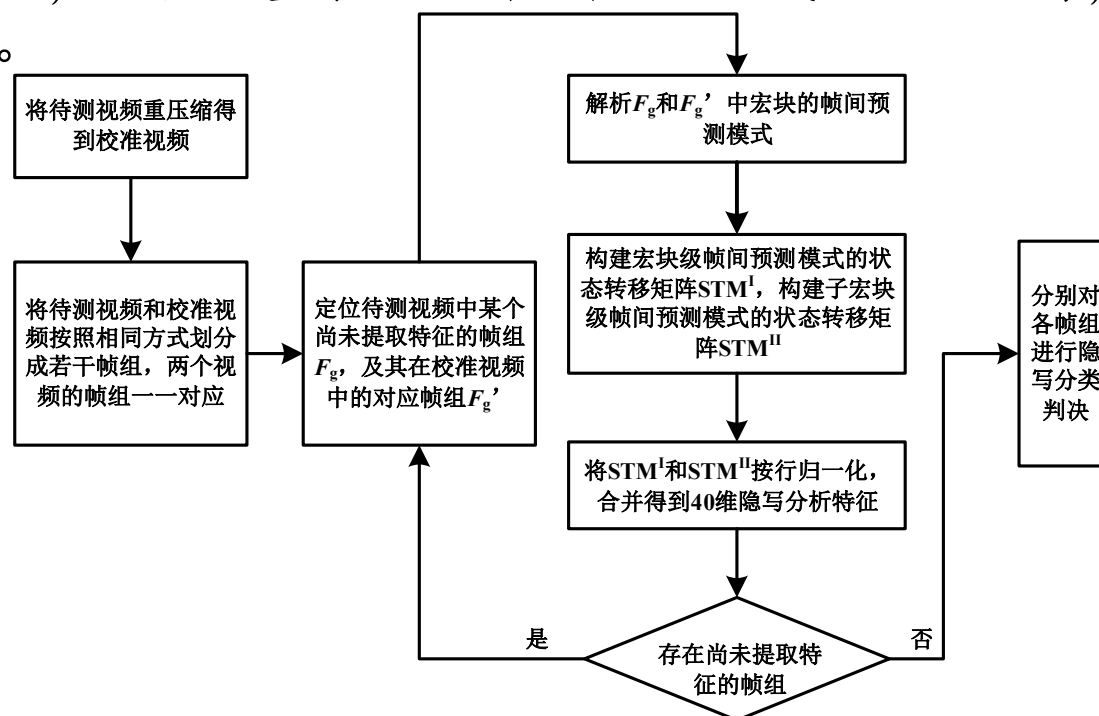
#### ○按照秘密信息的嵌入域

- 帧内预测模式 (Intra Prediction Mode, Intra-PM) 域
- 帧间预测模式 (Inter Prediction Mode, Inter-PM) 域
- 运动向量 (Motion Vector, MV) 域
- 变换系数 (Transform Coefficient) 域
- 量化参数 (Quantization Parameter, QP) 域
- 熵编码 (Entropy Coding) 域
- 其他

### 3.3 视频隐写分析技术典型算法——帧间预测模式域

#### 基于帧间预测模式回复的隐写分析方法

- Zhang 等<sup>[1]</sup>认为隐写嵌入过程中被修改的帧间预测模式，在隐写视频重压缩后，将表现出回复至其原始最优状态的趋势。因此，对帧间预测模式回复特性进行有效检测，有助于设计出针对帧间预测模式视频隐写的高性能检测分析方法。根据帧间预测模式回复特性，他们提出了名为帧间预测模式回复（Inter Prediction mode Reversion Based, IPRB）的40维专用分析特征，以检测基于H.264帧间预测模式的视频隐写，达到了良好的分析效果。



[1] Zhang H, Cao Y, Zhao X, et al. Video steganography with perturbed macroblock partition//Proceedings of the 2nd Workshop on Information Hiding and Multimedia Security, IH&MMSec'14. Salzburg: ACM, 2014: 115122.

### 3.3 视频隐写分析技术典型算法——帧间预测模式域

#### ○ 基于帧间预测模式回复的隐写分析方法

- **步骤1：预处理。**将待测视频划分成互不重叠的检测单元，每个检测单元由若干连续视频帧组成；对待测视频进行重压缩，得到校准视频，相应地，按照待测视频的检测单元划分方式，将校准视频划分成若干校准单元。
- **步骤2：帧间预测模式解析。**对于当前检测单元 $F_g$ ，定位其相应校准单元 $F'_g$ ，解析 $F_g$ 和 $F'_g$ 包含的帧间预测模式。
- **步骤3：构造宏块级帧间预测模式状态转移矩阵 $STM^I$ 。**构造大小为 $4 \times 5$ 的宏块级帧间预测模式状态转移矩阵 $STM^I$ ，即：

$$\begin{bmatrix} N(P_{16 \times 16}^I | P_{16 \times 16}^I) & N(P_{16 \times 8}^I | P_{16 \times 16}^I) & N(P_{8 \times 16}^I | P_{16 \times 16}^I) & N(P_{8 \times 8}^I | P_{16 \times 16}^I) & N(\text{Others} | P_{16 \times 16}^I) \\ N(P_{16 \times 16}^I | P_{16 \times 8}^I) & N(P_{16 \times 8}^I | P_{16 \times 8}^I) & N(P_{8 \times 16}^I | P_{16 \times 8}^I) & N(P_{8 \times 8}^I | P_{16 \times 8}^I) & N(\text{Others} | P_{16 \times 8}^I) \\ N(P_{16 \times 16}^I | P_{8 \times 16}^I) & N(P_{16 \times 8}^I | P_{8 \times 16}^I) & N(P_{8 \times 16}^I | P_{8 \times 16}^I) & N(P_{8 \times 8}^I | P_{8 \times 16}^I) & N(\text{Others} | P_{8 \times 16}^I) \\ N(P_{16 \times 16}^I | P_{8 \times 8}^I) & N(P_{16 \times 8}^I | P_{8 \times 8}^I) & N(P_{8 \times 16}^I | P_{8 \times 8}^I) & N(P_{8 \times 8}^I | P_{8 \times 8}^I) & N(\text{Others} | P_{8 \times 8}^I) \end{bmatrix}$$

式中，宏块级帧间预测模式 $P_{x \times y}^I$ 表示宏块被划分成尺寸为 $x \times y$ 的分块，分别进行帧间预测（例如， $P_{16 \times 8}^I$ 代表将宏块划分为2个 $16 \times 8$ 的分块）； $N(S'|S)$ 表示从校准前状态 $S$ 转移到校准后状态 $S'$ 的宏块的数量，Others表示校准后宏块不采用帧间预测编码，其不具有任何帧间预测模式。

### 3.3 视频隐写分析技术典型算法——帧间预测模式域

#### ○ 基于帧间预测模式回复的隐写分析方法

- 步骤4：构造宏块级帧间预测模式状态转移矩阵 $\mathbf{STM}^{\text{II}}$ 。构造大小为 $4 \times 5$ 的宏块级帧间预测模式状态转移矩阵 $\mathbf{STM}^{\text{II}}$ ，即：

$$\begin{bmatrix} N(\mathbf{P}_{8 \times 8}^{\text{I}} | \mathbf{P}_{8 \times 8}^{\text{I}}) & N(\mathbf{P}_{8 \times 4}^{\text{I}} | \mathbf{P}_{8 \times 8}^{\text{I}}) & N(\mathbf{P}_{4 \times 8}^{\text{I}} | \mathbf{P}_{8 \times 8}^{\text{I}}) & N(\mathbf{P}_{4 \times 4}^{\text{I}} | \mathbf{P}_{8 \times 8}^{\text{I}}) & N(\text{Others} | \mathbf{P}_{8 \times 8}^{\text{I}}) \\ N(\mathbf{P}_{8 \times 8}^{\text{I}} | \mathbf{P}_{8 \times 4}^{\text{I}}) & N(\mathbf{P}_{8 \times 4}^{\text{I}} | \mathbf{P}_{8 \times 4}^{\text{I}}) & N(\mathbf{P}_{4 \times 8}^{\text{I}} | \mathbf{P}_{8 \times 4}^{\text{I}}) & N(\mathbf{P}_{4 \times 4}^{\text{I}} | \mathbf{P}_{8 \times 4}^{\text{I}}) & N(\text{Others} | \mathbf{P}_{8 \times 4}^{\text{I}}) \\ N(\mathbf{P}_{8 \times 8}^{\text{I}} | \mathbf{P}_{4 \times 8}^{\text{I}}) & N(\mathbf{P}_{8 \times 4}^{\text{I}} | \mathbf{P}_{4 \times 8}^{\text{I}}) & N(\mathbf{P}_{4 \times 8}^{\text{I}} | \mathbf{P}_{4 \times 8}^{\text{I}}) & N(\mathbf{P}_{4 \times 4}^{\text{I}} | \mathbf{P}_{4 \times 8}^{\text{I}}) & N(\text{Others} | \mathbf{P}_{4 \times 8}^{\text{I}}) \\ N(\mathbf{P}_{8 \times 8}^{\text{I}} | \mathbf{P}_{4 \times 4}^{\text{I}}) & N(\mathbf{P}_{8 \times 4}^{\text{I}} | \mathbf{P}_{4 \times 4}^{\text{I}}) & N(\mathbf{P}_{4 \times 8}^{\text{I}} | \mathbf{P}_{4 \times 4}^{\text{I}}) & N(\mathbf{P}_{4 \times 4}^{\text{I}} | \mathbf{P}_{4 \times 4}^{\text{I}}) & N(\text{Others} | \mathbf{P}_{4 \times 4}^{\text{I}}) \end{bmatrix}$$

式中，宏块级帧间预测模式 $\mathbf{P}_{x \times y}^{\text{II}}$ 表示宏块被划分成尺寸为 $x \times y$ 的分块，分别进行帧间预测（例如， $\mathbf{P}_{4 \times 8}^{\text{II}}$ 代表将宏块划分为2个 $4 \times 8$ 的分块）； $N(\mathbf{S}' | \mathbf{S})$ 表示从校准前状态 $\mathbf{S}$ 转移到校准后状态 $\mathbf{S}'$ 的宏块的数量，Others表示校准后宏块不采用帧间预测编码，其不具有任何帧间预测模式。

- 步骤5：特征归一化。将 $\mathbf{STM}^{\text{I}}$ 第 $i$ 行第 $j$ 列的元素 $\mathbf{STM}^{\text{I}}(i, j)$ 除以 $\sum_{j=1}^5 \mathbf{STM}^{\text{I}}(i, j)$ ，得到归一化后的宏块级帧间预测模式状态转移矩阵 $\mathbf{STM}_{\text{norm}}^{\text{I}}$ ； $\mathbf{STM}_{\text{norm}}^{\text{II}}$ 同理。
- 步骤6：特征合并。合并 $\mathbf{STM}_{\text{norm}}^{\text{I}}$ 和 $\mathbf{STM}_{\text{norm}}^{\text{II}}$ ，得到40维隐写分析特征集。
- 步骤7：后续处理。在当前待测视频中，定位某一尚未提取特征的检测单元，依次执行上述步骤2至6，直至所有检测单元的特征提取完毕。

### 3.4 视频隐写分析技术典型算法——运动向量域

#### ○按照秘密信息的嵌入域

- 帧内预测模式 (Intra Prediction Mode, Intra-PM) 域
- 帧间预测模式 (Inter Prediction Mode, Inter-PM) 域
- 运动向量 (Motion Vector, MV) 域
- 变换系数 (Transform Coefficient) 域
- 量化参数 (Quantization Parameter, QP) 域
- 熵编码 (Entropy Coding) 域
- 其他

### 3.4 视频隐写分析技术典型算法——运动向量域

#### ○ 针对基本嵌入方法的隐写分析方法

- 第一个运动向量域视频隐写分析方法由Zhang等<sup>[1,2]</sup>提出。他们将运动向量隐写嵌入建模成在运动向量水平和垂直分量分别添加加性（Addictive）不相关噪声信号的过程，并基于频谱混叠效应（Aliasing Effect）设计了一组12维隐写分析特征集。然而，文献中并未说明当帧间预测分块的尺寸可变时应如何提取特征，故该方法不适用于H.264/AVC和H.265/HEVC视频。
- Cao 等<sup>[3]</sup>通过理论分析证明了隐写过程中被修改的运动向量在视频重压缩时通常会表现出回复至其原始状态的趋势。他们根据运动向量回复特性，对视频重压缩前后同位置运动向量的差异以及相应帧间预测残差的变化进行了衡量，在此基础上设计了名为MVRB(Motion Vector Reversion-Based)的15维隐写分析特征。

[1] Zhang C, Su Y, Zhang C. A new video steganalysis algorithm against motion vector steganography//Proceedings of the 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM'08. Dalian: IEEE, 2008: 14.

[2] Su Y, Zhang C, Zhang C. A video steganalytic algorithm against motionvectorbased steganography. Signal Processing, 2011, 91(8): 19011909.

[3] Cao Y, Zhao X, Feng D. Video steganalysis exploiting motion vector reversionbased features. IEEE Signal Processing Letters (SPL), 2012, 19(1): 3538.

### 3.4 视频隐写分析技术典型算法——运动向量域

#### ○ 针对基本嵌入方法的隐写分析方法

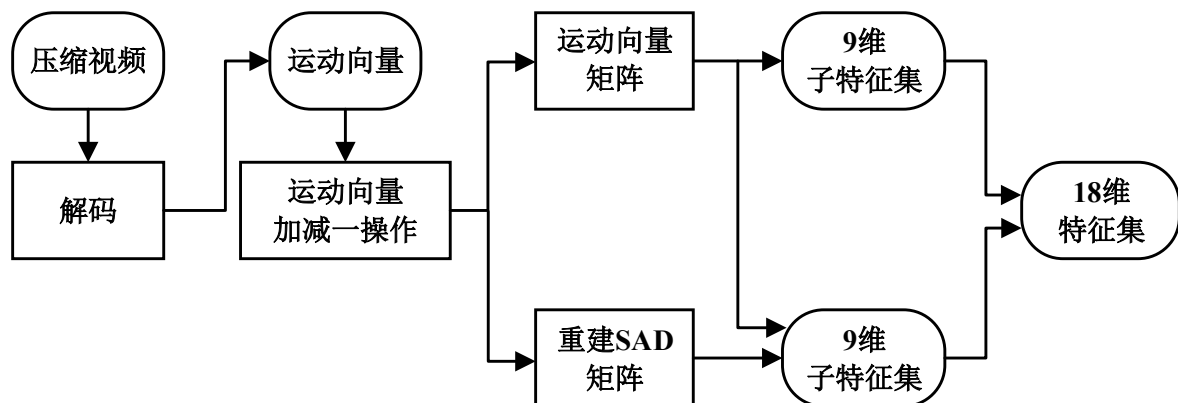
- 实验结果表明，MVRB的隐写分析性能优于Zhang等提出的方法，能够有效检测运动向量域基本嵌入方法。然而，其存在以下两点主要局限性。
- 首先，在实际应用场景中，隐写分析者难以知晓有关待测视频的所有编码参数。当视频二次压缩的编码参数和原始视频的编码参数存在较大差异时，MVRB的分析效果将会受到较大影响。
- 其次，H.264和H.265视频在二次压缩后，原先的帧间编码单元（如宏块）可能在编码模式或子块划分等方面发生变化，这将使得校准前后的运动向量在一定概率上不存在对应关系，从而限制了MVRB的适用范围。因此，MVRB不适用于分析H.264和H.265视频。



### 3.4 视频隐写分析技术典型算法——运动向量域

#### 基于运动向量分量加减一的分析方法

- 在Wang<sup>[1]</sup>等的工作中，他们建立了基于SAD的运动向量局部最优判定准则，设计了名为AoSO (Adding or Subtracting One)的18维隐写分析特征，针对运动向量域基本嵌入方法和第一阶段优化嵌入方法，达到了良好的分析检测效果。



- 给定压缩视频中的运动向量 $\mathbf{V} = (x, y)$ ，确定其相应的候选运动向量集合 $\Omega(\mathbf{V}) = \{x - 1, x, x + 1\} \times \{y - 1, y, y + 1\}$ 。根据基于SAD的运动向量局部最优判定准则， $\mathbf{V}$ 被判定为局部最优，若其满足

$$\mathbf{V} = \arg \min_{\mathbf{m} \in \Omega(\mathbf{V})} \{\text{SAD}(\mathbf{S}_{\text{rec}}^{\mathbf{V}}, \mathbf{S}_{\mathbf{m}})\}$$

式中， $\mathbf{S}_{\text{rec}}^{\mathbf{V}}$ 表示 $\mathbf{V}$ 对应的重建块； $\mathbf{S}_{\mathbf{m}}$ 表示 $\mathbf{m}$ 指向的预测参考块。

[1] Wang K, Zhao H, Wang H. Video steganalysis against motion vectorbased steganography by adding or subtracting one motion vector value. IEEE Transactions on Information Forensics and Security (TIFS), 2014, 9(5): 741-751.



### 3.4 视频隐写分析技术典型算法——运动向量域

#### ○ 基于运动向量分量加减一的分析方法

● 有关AoSO 的特征提取步骤描述如下。

● **步骤1：预处理。**将待测视频划分成互不重叠的检测单元，每个检测单元由若干连续视频帧组成。

● **步骤2：SAD 计算。**对于当前检测单元中的运动向量 $\mathbf{V}_i = (x_i, y_i)$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) (其中 $N$ 表示当前检测单元包含的运动向量的数量)，首先确定其对应的相邻运动向量集合 $\Omega(\mathbf{V}_i) = \{x_i - 1, x_i, x_i + 1\} \times \{y_i - 1, y_i, y_i + 1\}$ ；其次，对于 $\Omega(\mathbf{V}_i)$ 中的每个运动向量 $\mathbf{m}_i^j$  ( $j \in [1, 9]$ )，分别计算相应的重建SAD值，即 $D(\mathbf{m}_i^j) = \text{SAD}(\mathbf{S}_{\text{rec}}^{\mathbf{V}}, \mathbf{S}_{\mathbf{m}_i^j}^{\mathbf{V}})$ ；最后，确定集合 $\{D(\mathbf{m}) \mid \mathbf{m} \in \Omega(\mathbf{V}_i)\}$ 中的最小值，记作 $D_{\min}(\Omega(\mathbf{V}_i))$ 。

● **步骤3：类型1子特征 $f^1$ 提取。** $f^1$ 的每个特征表示给定 $k$ 时 $D(\mathbf{m}_i^k)$ 和 $D_{\min}(\Omega(\mathbf{V}_i))$ 相等的概率，定义为

$$f^1(k) = \text{Prob}(D(\mathbf{m}_i^k) = D_{\min}(\Omega(\mathbf{V}_i))) = \frac{\sum_{i=1}^k \delta(D(\mathbf{m}_i^k), D_{\min}(\Omega(\mathbf{V}_i)))}{N}$$

式中， $k = 1, 2, \dots, 9$ ； $\delta(x, y) = \begin{cases} 1, & x = y \\ 0, & x \neq y \end{cases}$

## 3.4 视频隐写分析技术典型算法——运动向量域

### ○ 基于运动向量分量加减一的分析方法

- 有关AoSO 的特征提取步骤描述如下。

- **步骤4：类型2 子特征 $f^2$ 提取。** $f^2$ 的每个特征反映 $D(\mathbf{V}_i)$  和 $D_{\min}(\Omega(\mathbf{V}_i))$ 之间的差异程度，定义为

$$f^2(k) = \frac{1}{Z} \sum_{i=1}^N \exp \left\{ \frac{|D(\mathbf{V}_i) - D(\mathbf{m}_i^k) \cdot \tilde{\delta}(D_{\min}(\Omega(\mathbf{V}_i)), D(\mathbf{m}_i^k))|}{D(\mathbf{V}_i) + 1} \right\}$$

式中， $k = 1, 2, \dots, 9$ ； $\tilde{\delta}(x, y) = \begin{cases} 1, & x = y \\ -\infty, & x \neq y \end{cases}$ ；为归一化因子，满足

$$Z = \sum_{k=1}^9 \sum_{i=1}^N \exp \left\{ \frac{|D(\mathbf{V}_i) - D(\mathbf{m}_i^k) \cdot \tilde{\delta}(D_{\min}(\Omega(\mathbf{V}_i)), D(\mathbf{m}_i^k))|}{D(\mathbf{V}_i) + 1} \right\}$$

- **步骤5：特征合并。**将类型1子特征 $f^1$ 和类型2子特征 $f^2$ 合并，得到18维隐写分析特征集 $\mathcal{F}$ ，即

$$\mathcal{F}(k) = \begin{cases} f^1(k), & k \in [1, 9] \\ f^2(k - 9), & k \in [10, 18] \end{cases}$$

- **步骤6：后续处理。**在当前待测视频中，定位某一尚未提取特征的检测单元，依次执行上述步骤2 至5，直至所有检测单元的特征提取完毕。

### 3.4 视频隐写分析技术典型算法——运动向量域

#### ○ 基于运动向量分量加减一的分析方法

- AoSO 存在以下两点局限性：
  - 首先，其只通过重建SAD值判定运动向量是否为局部最优，当码率极低时，对某些隐写算法的分析检测正确率会受到较大影响。
  - 其次，该方法在检测运动向量的局部最优时未能考虑隐写嵌入对视频编码性能造成的影响，故其实质上无法准确判定运动向量是否为局部最优，从而存在被攻击的可能。

### 3.4 视频隐写分析技术典型算法——运动向量域

#### ○ 基于运动向量率失真性能检测的分析方法

- 针对AoSO的局限性，根据视频压缩编码中的率失真优化(Rate-Distortion Optimization)原理，任意运动向量在率失真意义下均为局部最优。Zhang等[1]通过综合考虑失真和编码运动向量所需的比特数，在率失真意义下检测运动向量的局部最优。
- 在此基础上，他们提出了基于运动向量率失真性能检测的36维隐写分析特征集NPELO (Near-Perfect Estimation for Local Optimality)，NPELO采用拉格朗日代价函数构建运动向量局部最优判定准则。
- 和AoSO不同，所提分析方法将SAD和SATD均作为失真度量标准，并能够恢复出原本于运动估计中生成但在有损压缩编码过程中丢失的关于运动向量编码比特数估计的信息。
- 实验结果显示，NPELO的隐写分析性能优于AoSO，即使在低嵌入强度下，也能够有效检测当前几乎所有类型的运动向量域隐写算法。

[1] Zhang H, Cao Y, Zhao X. A steganalytic approach to detect motion vector modification using nearperfect estimation for local optimality. IEEE Transactions on Information Forensics and Security (TIFS), 2017, 12(2): 465478.

### 3.4 视频隐写分析技术典型算法——运动向量域

#### ○ 基于运动向量率失真性能检测的分析方法

- NPELO采用拉格朗日代价函数构建运动向量局部最优判定准则。该准则的判定流程如下。

- 给定压缩视频中的运动向量 $\mathbf{V} = (x, y)$ ，确定相应的候选运动向量集合 $\Omega(\mathbf{V}) = \{x + \Delta x | \Delta x = 0, \pm 1, \dots, \pm i_x\} \times \{y + \Delta y | \Delta y = 0, \pm 1, \dots, \pm i_y\}$

式中， $i_x$ 和 $i_y$ 均为正整数。此时，将 $i_y$ 判定为局部最优，若其满足

$$\mathbf{V} = \arg \min_{\mathbf{m} \in \Omega(\mathbf{V})} \{J_{\text{MOTION}}^{\mathcal{D}}(\mathbf{m})\}$$

式中，拉格朗日代价函数计算为

$$J_{\text{MOTION}}^{\mathcal{D}}(\mathbf{m}) = \mathcal{D}(\mathbf{S}_{\text{rec}}^{\mathbf{V}}, \mathbf{S}_{\mathbf{m}}) + \lambda_{\text{MOTION}} R_{\text{MOTION}}(\mathbf{m})$$

式中， $\mathcal{D}$ 为使用的失真度量标准； $\mathbf{S}_{\text{rec}}^{\mathbf{V}}$ 表示具有运动向量 $\mathbf{V}$ 的重建块； $\mathbf{S}_{\mathbf{m}}$ 代表相应的位于参考帧中的预测块；运动向量 $\mathbf{m}$ 为其和 $\mathbf{S}_{\text{rec}}^{\mathbf{V}}$ 之间的相对位移； $\lambda_{\text{MOTION}}$ 为拉格朗日乘子； $R_{\text{MOTION}}(\mathbf{m})$ 表示编码运动向量 $\mathbf{m}$ 所需的比特数。

### 3.4 视频隐写分析技术典型算法——运动向量域

#### ○基于运动向量率失真性能检测的分析方法——计算失真

- 在率失真优化运动估计中，通常以SAD作为失真度量标准。然而，在1/4像素精度运动估计的最后阶段，SATD能够提供比SAD更加精确的失真度量结果。事实上，当前流行的开源视频编码器，已将SATD作为率失真优化运动估计亚像素精度搜索阶段中的一种可选失真度量标准。

- 在基于SAD的拉格朗日代价函数中，将失真项计算为

$$\text{SAD}(\mathbf{A}, \mathbf{B}) = \sum_{i,j} |\mathbf{A}(i,j) - \mathbf{B}(i,j)|$$

式中， $\mathbf{A}(i,j)$ 和 $\mathbf{B}(i,j)$ 分别表示分块 $\mathbf{A}$ 和 $\mathbf{B}$ 中 $(i,j)$ 位置的元素值。

- 在基于SATD的拉格朗日代价函数中，将失真项计算为

$$\text{SATD}(\mathbf{A}, \mathbf{B}) = \sum_{i,j} |\mathbf{HT}_{4 \times 4}(i,j)|$$

式中， $\mathbf{HT}_{4 \times 4}$ 表示对分块 $\mathbf{A}$ 和 $\mathbf{B}$ 之间的差进行 $4 \times 4$ 哈达码变化所得的结果。

### 3.4 视频隐写分析技术典型算法——运动向量域

#### ○ 基于运动向量率失真性能检测的分析方法——估计拉格朗日乘子

- 在率失真优化运动估计中，拉格朗日乘子 $\lambda_{\text{MOTION}}$ 用于控制码率和失真之间的平衡。一般地，较小的 $\lambda_{\text{MOTION}}$ 强调最小化失真 $D$ 而允许较高码率，相反，较大的 $\lambda_{\text{MOTION}}$ 倾向于以较高失真为代价从而最小化码率 $R_{\text{MOTION}}$ 。
- 对于H.264/AVC视频：首先确定包含运动向量 $\mathbf{V}$ 的宏块 $\mathbf{M}^{\mathbf{V}}$ ，随后从压缩码流中读取（熵解码） $\mathbf{M}^{\mathbf{V}}$ 的宏块头语法元素（Syntax Element）以获得量化参数 $Q$ （取值范围为0到51），进而根据下式估计 $\lambda_{\text{MOTION}}$ 。

$$\lambda_{\text{MOTION}} = \sqrt{0.85 \cdot 2^{(Q-12)/3}}$$

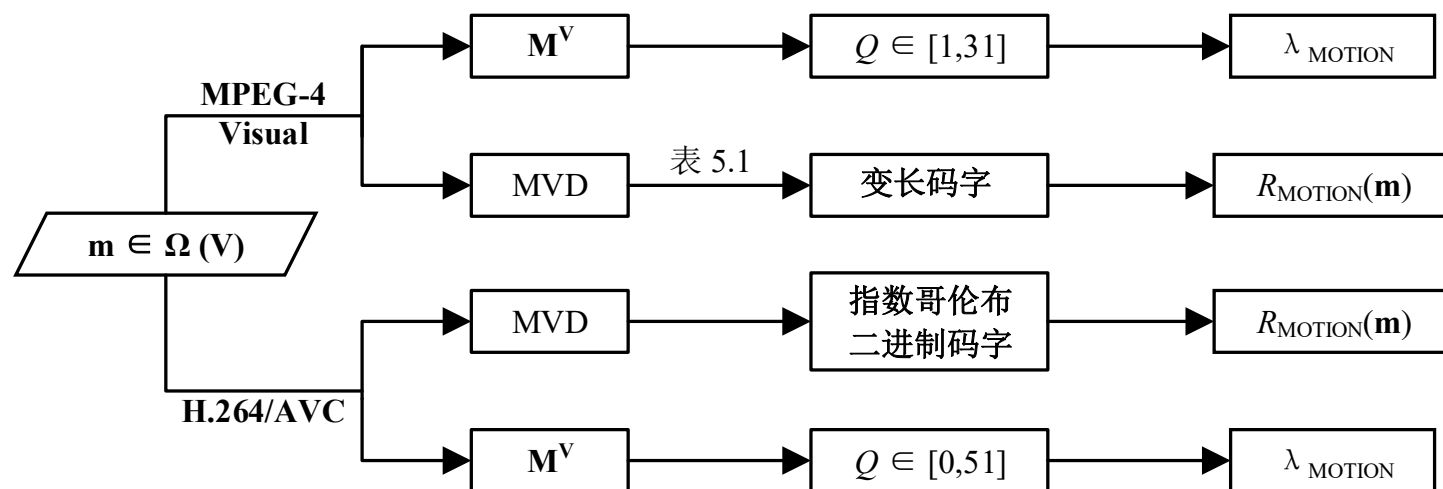
- 对于MPEG-4 Visual视频：除了应当采用下式估计 $\lambda_{\text{MOTION}}$ 外，其余操作步骤和流程均类似于H.264/AVC视频，其中 $Q$ 的取值范围为1到31。

$$\lambda_{\text{MOTION}} = \sqrt{0.85 \cdot Q^2}$$

### 3.4 视频隐写分析技术典型算法——运动向量域

○ 基于运动向量率失真性能检测的分析方法——估计拉格朗日乘子

- 下图为针对MPEG-4 Visual和H.264/AVC视频，对 $\lambda_{\text{MOTION}}$ 和 $R_{\text{MOTION}}(\cdot)$ 进行估计的流程示意图。



- $V$ 表示压缩视频中的运动向量， $\Omega(V)$ 代表候选运动向量集合， $M^V$ 表示拥有运动向量 $V$ 的宏块



### 3.4 视频隐写分析技术典型算法——运动向量域

#### ○ 基于运动向量率失真性能检测的分析方法——估计运动向量的编码比特数

- 根据最新的视频编码标准，在编码运动向量时，事实上是对其和相应预测运动向量（Predicted Motion Vector）之间的差值（简称运动向量差值，Motion Vector Difference, MVD）进行熵编码，并将所得结果输出至视频流。
- MPEG-4 Visual视频编码器采用MPEG-4 Visual标准中（具体对应该标准中的表B-12）定义的基于哈夫曼的变长码表（该变长码表部分内容如下表所示）对运动向量差值进行熵编码，从而将每个运动向量编码成一对变长码字。

MVD	码字
...	
-1	0011
-0.5	011
0	1
0.5	010
...	

### 3.4 视频隐写分析技术典型算法——运动向量域

#### ○ 基于运动向量率失真性能检测的分析方法——估计运动向量的编码比特数

- H.264/AVC视频编码器根据图像参数集Picture Parameter Set, PPS) 中的标志位`entropy_coding_mode`所指定的熵编码模式 (Entropy Encoding Mode), 采用指数哥伦布变长编码 (Exp-Golomb Variable-Length Coding) 或基于上下文的自适应二进制算术编码 (Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding, CABAC) 对运动向量差值进行熵编码。一般地, CABAC相比变长编码能够提供更高的压缩编码性能, 但其算法流程繁琐, 时间复杂度较高。因此, H.264/AVC 编码器, 如JM和x264, 无论图像参数集指定了何种熵编码模式, 在率失真优化的运动估计中都仅采用指数哥伦布编码进行运动向量码率估计, 以此有效降低视频压缩编码中运动估计的时间复杂度。
- 根据上述分析, 当采用拉格朗日代价函数检测MPEG-4 Visual或H.264/AVC 压缩视频中的运动向量是否为局部最优时, 可按照下页所述步骤对编码运动向量所需比特数 $R_{\text{MOTION}}(\cdot)$ 进行估计。

### 3.4 视频隐写分析技术典型算法——运动向量域

#### ○ 基于运动向量率失真性能检测的分析方法——估计运动向量的编码比特数

- 对于H.264/AVC视频：给定运动向量 $\mathbf{m} = (x, y)$ ，首先获得相应的运动向量差值 $(D_x, D_y)$ 。随后根据下式描述的映射规则，分别将 $D_x$ 和 $D_y$ 映射至索引 $codeNum_{D_x}$ 和 $codeNum_{D_y}$ 。

$$codeNum_k = \begin{cases} 2|k|, & k \leq 0 \\ 2|k| - 1, & k > 0 \end{cases}$$

每个指数哥伦布二进制码字可根据相应索引推导得出，并包含 $(2\lfloor \log_2(codeNum + 1) \rfloor + 1)$  比特。因此，编码运动向量 $\mathbf{m}$ 所需的比特数可估计为

$$R_{\text{MOTION}}(\mathbf{m}) = 2\lfloor \log_2(codeNum_{D_x} + 1) \rfloor + 2\lfloor \log_2(codeNum_{D_y} + 1) \rfloor + 2$$

### 3.4 视频隐写分析技术典型算法——运动向量域

○基于运动向量率失真性能检测的分析方法——估计运动向量的编码比特数

- 对于MPEG-4 Visual视频：给定运动向量 $\mathbf{m} = (x, y)$ ，首先获得相应的运动向量差值 $(D_x, D_y)$ 。根据MPEG-4 Visual标准中定义的运动向量差值变长码表，分别将 $D_x$ 和 $D_y$ 转化成二进制码字 $code_{D_x}$ 和 $code_{D_y}$ 。因此编码运动向量 $\mathbf{m}$ 所需的比特数可估计为。

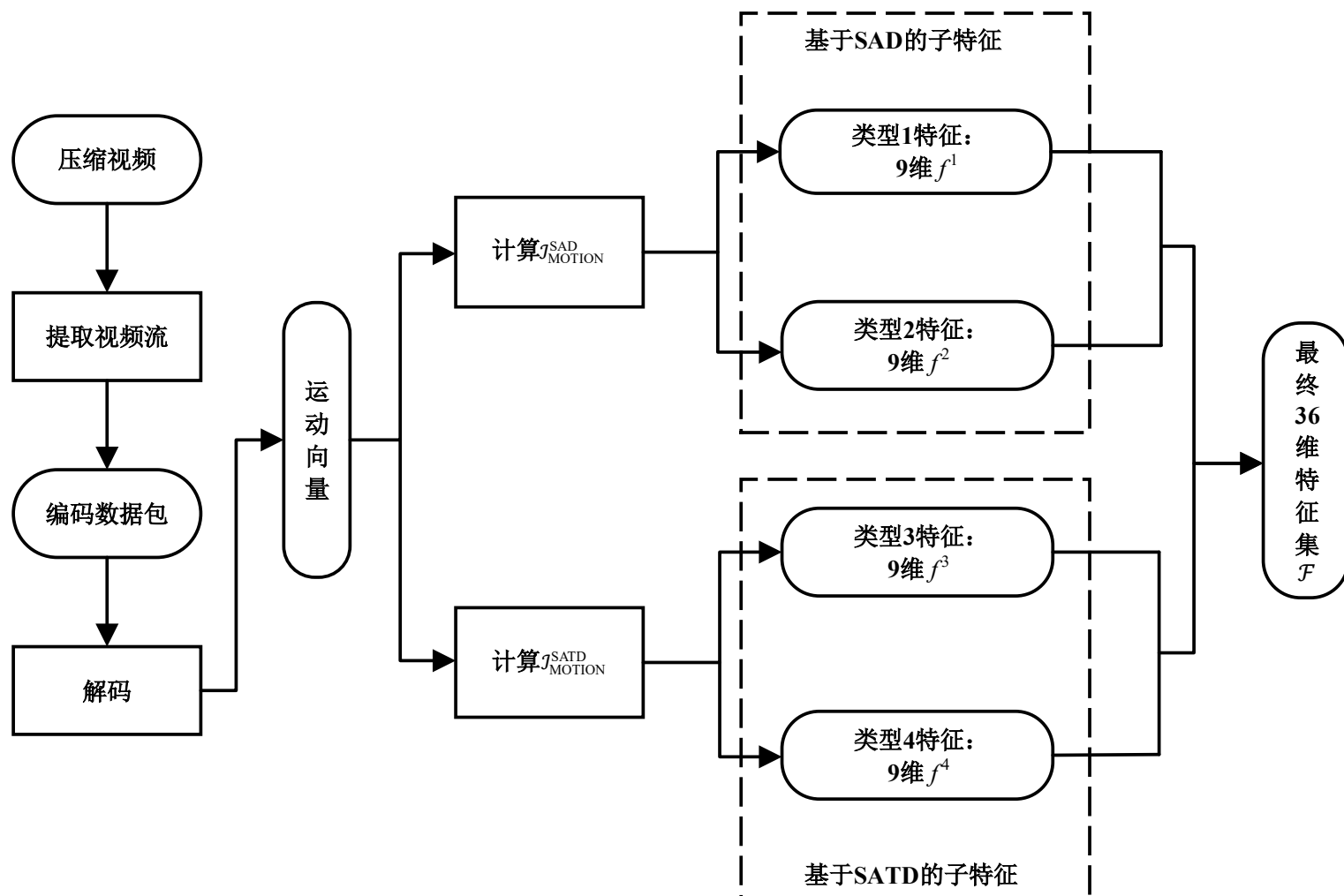
$$R_{\text{MOTION}}(\mathbf{m}) = |code_{D_x}| + |code_{D_y}|$$

式中， $|code_i|$ 代表码字 $code_i$ 的长度

### 3.4 视频隐写分析技术典型算法——运动向量域

#### ○ 基于运动向量率失真性能检测的分析方法

● NPELO的特征提出流程示意图如下所示：



## 3.5 视频隐写分析技术典型算法——变换系数域

### ○按照秘密信息的嵌入域

- 帧内预测模式 (Intra Prediction Mode, Intra-PM) 域
- 帧间预测模式 (Inter Prediction Mode, Inter-PM) 域
- 运动向量 (Motion Vector, MV) 域
- 变换系数 (Transform Coefficient) 域
- 量化参数 (Quantization Parameter, QP) 域
- 熵编码 (Entropy Coding) 域
- 其他

## 3.5 视频隐写分析技术典型算法——变换系数域

### ○ 基于中心化误差的隐写分析方法

- Wang等<sup>[1]</sup>认为，主流防止失真漂移的离散余弦变换系数隐写方法，虽然阻止了失真向其他亮度分块的扩散，却不可避免地当前分块的中心区域累积了更大的误差变化。
- 他们通过利用受扰动的分块重建像素间关系的破坏，构造描述关系变化的残差共生矩阵，设计了36维隐写分析特征，从而有效检测基于离散余弦变换系数的隐写算法。如下图所示，在 $4 \times 4$ 亮度帧内预测块的离散余弦系数被隐写修改后，任意水平、竖直和对角的重建像素间的相关性将会受到不同程度的破坏。该分析方法利用相邻重建像素之间的残差来表示两者之间的相关性，以多个维度的残差衡量依赖状态。提出了中心化误差（Centralized Error, CER）特征来表示不同的依赖模式。

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

[1] Wang Y, Cao Y, Zhao X. Video steganalysis based on centralized error detection in spatial domain//Proceedings of the 12th International Conference on Information Security and Cryptology, Inscrypt'16. Beijing: Springer, 2016: 472483.

## 3.5 视频隐写分析技术典型算法——变换系数域

### ○ 基于中心化误差的隐写分析方法

● 文中所定义四种残差如下：

$$r_h = x_{h_1} - x_{h_2}$$

式中， $(x_{h_1}, x_{h_2}) \in \mathbf{U}_h = \{(b, a), (c, d), (n, m), (o, p)\}$ 。记 $u_h^i$ 为集合 $\mathbf{U}_h$ 中的第 $i$ 个元素， $i = 1, 2, 3, 4$ ；

$$r_v = x_{v_1} - x_{v_2}$$

式中， $(x_{v_1}, x_{v_2}) \in \mathbf{U}_v = \{(e, a), (h, d), (i, m), (l, p)\}$ 。记 $u_v^i$ 为集合 $\mathbf{U}_v$ 中的第 $i$ 个元素， $i = 1, 2, 3, 4$ ；

$$r_d = x_{d_1} - x_{d_2}$$

式中， $(x_{d_1}, x_{d_2}) \in \mathbf{U}_d = \{(f, a), (g, d), (j, m), (k, p)\}$ 。记 $u_d^i$ 为集合 $\mathbf{U}_d$ 中的第 $i$ 个元素， $i = 1, 2, 3, 4$ ；

$$r_m = \max\{x_m - x_{m_1}, x_m - x_{m_2}\}$$

式中， $(x_m, x_{m_1}, x_{m_2}) \in \mathbf{U}_m = \{(f, b, e), (g, c, h), (j, n, i), (k, o, l)\}$ 。记 $u_m^i$ 为集合 $\mathbf{U}_m$ 中的第 $i$ 个元素， $i = 1, 2, 3, 4$ ；



## 3.5 视频隐写分析技术典型算法——变换系数域

### ○ 基于中心化误差的隐写分析方法

- 对于给定的视频帧组， $N$ 表示其中 $4 \times 4$ 帧内分块的数目。由此定义四个共生矩阵 $\mathbf{C}_h$ 、 $\mathbf{C}_v$ 、 $\mathbf{C}_d$ 和 $\mathbf{C}_m$ 如下：

$$\mathbf{C}_h(j) = \mathbf{Prob}(r_h = j \mid (x_{h_1}, x_{h_2}) = u_h^i)$$

$$\mathbf{C}_v(j) = \mathbf{Prob}(r_v = j \mid (x_{v_1}, x_{v_2}) = u_v^i)$$

$$\mathbf{C}_d(j) = \mathbf{Prob}(r_d = j \mid (x_{d_1}, x_{d_1}) = u_d^i)$$

$$\mathbf{C}_m(j) = \mathbf{Prob}(r_m = j \mid (x_m, x_{m_1}, x_{m_2}) = u_m^i)$$

式中，限定截断区间 $j \in [-4, +4]$ 。依据以上四个共生矩阵，本方法提供的CER特征共36维。

## 3.5 视频隐写分析技术典型算法——变换系数域

### ○ 基于DCTR 的隐写分析方法

- 在Wang等<sup>[1]</sup>的工作中，借鉴了图像隐写分析领域DCTR特征<sup>[2]</sup>的设计思想，通过分析基于H.264量化离散余弦变换系数的视频隐写对视频时空相关性造成的扰动，构建了两类隐写分析特征集。
- 首先，根据量化离散余弦变换系数隐写修改将对重建视频空域像素的统计特性造成扰动这一事实，使用基于DCT核的卷积操作，并计算视频帧经过卷积后的空域直方图，作为帧内特征；
- 其次，通过运动向量连接相邻视频帧的相似块构造时域分片，结合隐写修改对帧内编码分块造成的嵌入失真，使用基于DCT核的卷积操作，计算视频帧的时域直方图，作为帧间特征。
- 将所得的帧内和帧间特征进行融合降维，最终得到名为VDCTR（Video DCTR）的1440维隐写分析特征集。

[1] Wang P, Cao Y, Zhao X, et al. A steganalytic algorithm to detect DCTbased data hiding methods for H.264/AVC videos// Proceedings of the 5th Workshop on Information Hiding and Multimedia Security, IH&MMSec'17. Philadelphia: ACM, 2017: 123133.  
[2] Holub V, Fridrich J. Lowcomplexity features for JPEG steganalysis using undecimated DCT. IEEE Transactions on Information Forensics and Security (TIFS), 2015, 10(2): 219228.

## 3.5 视频隐写分析技术典型算法——变换系数域

### ○ 基于DCTR 的隐写分析方法

● 有关VDCTR 的特征提取步骤，描述如下。

- **步骤1：预处理。**将待测H.264 视频划分成 $K$ 个GOP 单元（其中 $K$ 根据视频和GOP 单元的长度确定），每个检测单元由连续视频帧组成，且第一帧为I帧。
- **步骤2：特征提取。**根据第 $k$ 个GOP 单元( $1 \leq k \leq K$ )帧类型的不同，执行下述操作。

A.解码各I帧到空域，从每个空域I帧 $\mathbf{F}_k$ 提取空域特征集，

(a) 通过求 $\mathbf{F}_k$ 与DCT核 $\mathbf{G}$ 的卷积计算空域I帧的噪声残差 $\mathbf{U}(\mathbf{F}_k, \mathbf{G})$ ，并且通过量化操作得到其空域I帧的量化噪声残差 $\mathbf{U}(\mathbf{F}_k, \mathbf{G}, Q)$ ；

(b) 根据现有量化离散余弦变换系数隐写算法中的 $4 \times 4$ 块类别划分，对当前重建I帧中第 $(i, j)$ 个 $4 \times 4$ 块进行分类，并计算出各类隐写修改造成的残差失真， $\delta(\rho_{ij}) \in \{8q^2, 8q^2, 8q^2, 4q^2, 16q^2\}$ 。

(c) 根据当前重建I帧的量化噪声残差和残差失真代价，通过

$$\sum_{i=1}^{\lfloor M/4 \rfloor} \sum_{j=0}^{\lfloor N/4 \rfloor} \left[ U_{ij}^{(u,v)}(\mathbf{F}_k, \mathbf{G}, Q) = \tau \right] \cdot \delta(\rho_{ij})$$

计算空域直方图 $\dot{h}_{\tau}^{(u,v)}(\mathbf{F}_k, \mathbf{G}, Q)$ ，式中， $0 \leq \tau \leq 4$ ； $0 \leq u, v \leq 3$ 。经过特征融合降维，提取720 维隐写分析特征。

## 3.5 视频隐写分析技术典型算法——变换系数域

### ○ 基于DCTR 的隐写分析方法

- 有关VDCTR 的特征提取步骤，描述如下。

- 步骤2：特征提取。（续）

**B.**解码各检测单元的P帧以及B帧，在解码过程中构造时域特征集，

(a) 使用运动向量连接与 $\mathbf{F}_k$ 相似的 $4 \times 4$ 块并构造时域分片 $\mathbf{P}_k$ ；

(b) 计算上述时域分片 $\mathbf{P}_k$ 与DCT核 $\mathbf{G}$ 的卷积，得到时域分片 $\mathbf{P}_k$ 的噪声残差 $\mathbf{U}(\mathbf{P}_k, \mathbf{G})$ ，并将其量化得到量化噪声残差 $\mathbf{U}(\mathbf{P}_k, \mathbf{G}, Q)$ ；

(c) 通过

$$\sum_{i=1}^T \sum_{j=0}^L \left[ U_{ij}^{(u,v)}(\mathbf{P}_k, \mathbf{G}, Q) = \tau \right] \cdot \delta(\rho_i)$$

计算时域直方图 $\ddot{h}_\tau^{(u,v)}(\mathbf{P}_k, \mathbf{G}, Q)$ 。式中， $\delta(\rho_i)$ 是 $\mathbf{P}_k$ 中 $4 \times 4$ 块的残差失真，与该块在I帧的相似块的残差失真相等；时域分片 $\mathbf{P}_k$ 由 $T \times L$ 个连接块拼接构成。经过特征融合降维，提取720维隐写分析特征。

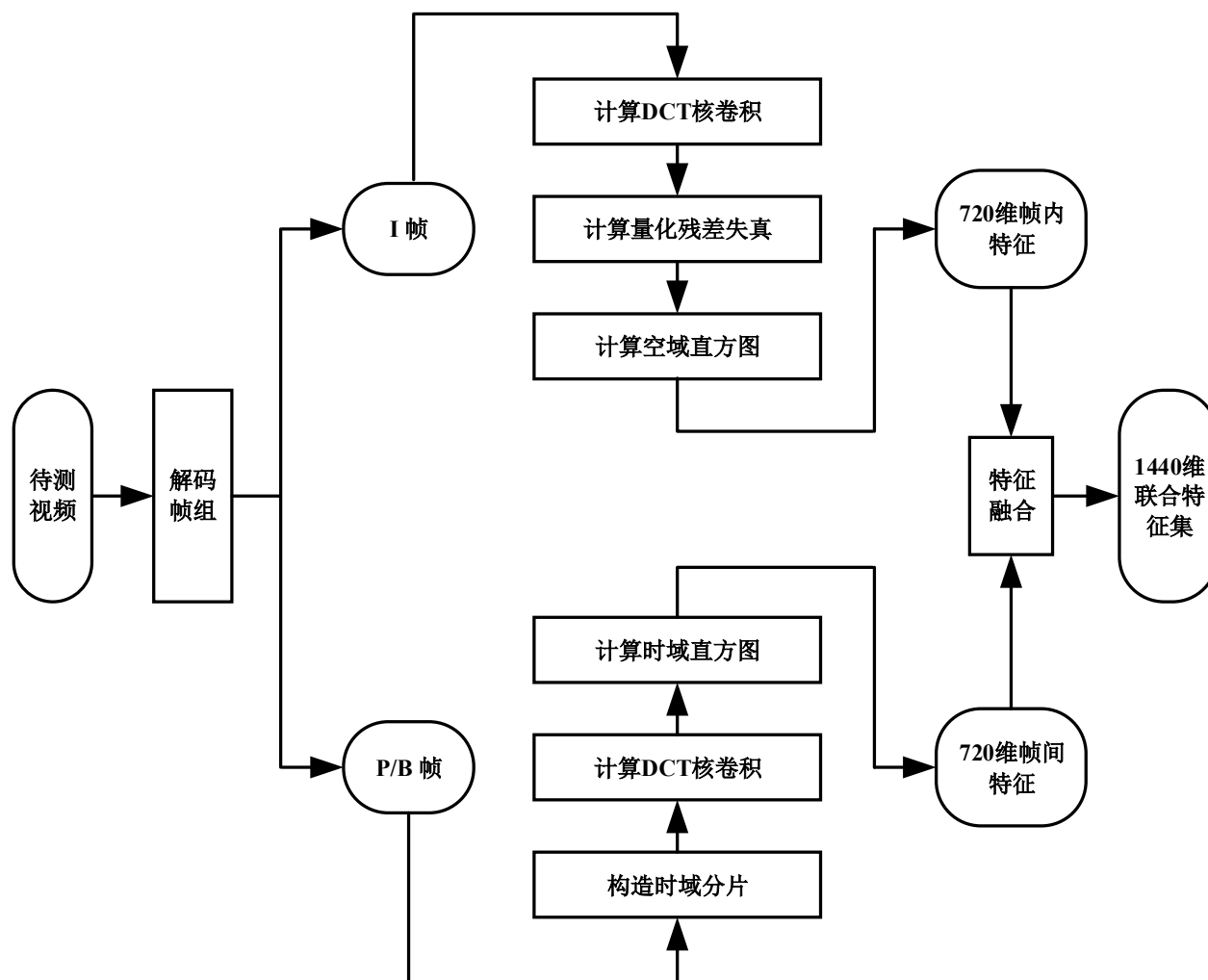
**C.**根据DCT核对称原则合并空域直方图 $\dot{h}_\tau^{(u,v)}(\mathbf{F}_k, \mathbf{G}, Q)$ 和时域直方图 $\ddot{h}_\tau^{(u,v)}(\mathbf{P}_k, \mathbf{G}, Q)$ ，得到降维后的帧内特征与帧间特征。连接降维后的720维帧内特征和720维帧间特征即可得到最终的隐写分析特征集。

- 步骤3：依次提取。按照步骤2的操作提取隐写分析特征集，直至处理完毕当前待测视频。

### 3.5 视频隐写分析技术典型算法——变换系数域

#### ○ 基于DCTR 的隐写分析方法

- 下图为VDCTR 的特征提取示意图



### 3.6 视频隐写分析技术典型算法——量化参数域

#### ○按照秘密信息的嵌入域

- 帧内预测模式 (Intra Prediction Mode, Intra-PM) 域
- 帧间预测模式 (Inter Prediction Mode, Inter-PM) 域
- 运动向量 (Motion Vector, MV) 域
- 变换系数 (Transform Coefficient) 域
- 量化参数 (Quantization Parameter, QP) 域
- 熵编码 (Entropy Coding) 域
- 其他

## 3.6 视频隐写分析技术典型算法——量化参数域

### ○ 基于量化参数奇异值检测的隐写分析方法

- 在H.264/AVC视频编码标准中，量化参数（Quantization Parameter, QP）的取值范围为0到51之间的整数。在视频压缩编码过程中，对于某个待编码宏块，视频编码器将在压缩编码流程的变换量化阶段，为该宏块选择合适的量化参数，以此控制码率和失真之间的平衡。一般地，宏块量化参数越大，越倾向于以牺牲视觉保真度为代价从而提高压缩编码性能；宏块量化参数越小，越倾向于以牺牲压缩编码性能代价从而增强视觉保真度。
- Zhang等<sup>[1]</sup>指出，H.264压缩视频的量化参数通常表现出以下特性：对于某视频帧，光栅扫描顺序下相邻宏块的量化参数有较大概率相同。对H.264载体视频的量化参数进行隐写修改，将在不同程度上对量化参数的上述特性造成扰动。在此基础上，通过建立光栅扫描顺序下等值量化参数序列的一阶统计直方图，设计了10维隐写分析特征集，提出了基于量化参数奇异值检测的视频隐写分析方法

[1]张弘，曹纭，赵险峰. 基于量化参数奇异值检测的视频隐写分析方法和装置:中国, 201710805983.X [P]. 2018-01-19.

### 3.6 视频隐写分析技术典型算法——量化参数域

22	22	22	22	22	22	22	22	20	20	20
22	22	20	20	20	20	20	20	20	20	20
22	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
19	21	21	21	19	19	21	21	21	21	21
21	21	21	21	21	21	23	23	23	23	23
21	21	21	21	21	23	21	19	21	23	23
22	20	20	22	22	24	22	22	20	20	22
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
20	17	21	21	24	24	24	22	22	22	20

22	23	22	21	22	22	22	22	19	20	20
22	23	20	20	20	21	20	20	20	20	20
22	21	19	20	20	20	20	20	21	20	20
19	21	21	21	19	19	21	21	21	22	21
21	21	21	21	21	21	23	23	24	23	23
21	21	21	21	21	23	21	19	21	23	22
22	20	20	21	21	24	22	22	21	20	22
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
20	18	20	21	23	23	24	22	23	21	20

待测视频  
序列

统计

长度为 $n$ 的等值量  
化参数序列的比例

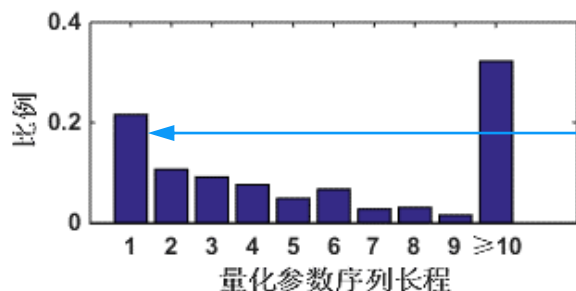
$n = 1$

$n = 2$

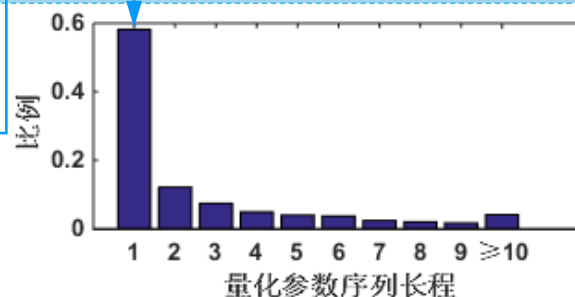
...

$n \geq k$

COVER



STEGO





## 3.7 视频隐写分析技术典型算法——熵编码域

### ○按照秘密信息的嵌入域

- 帧内预测模式 (Intra Prediction Mode, Intra-PM) 域
- 帧间预测模式 (Inter Prediction Mode, Inter-PM) 域
- 运动向量 (Motion Vector, MV) 域
- 变换系数 (Transform Coefficient) 域
- 量化参数 (Quantization Parameter, QP) 域
- 熵编码 (Entropy Coding) 域
- 其他

## 3.7 视频隐写分析技术典型算法——熵编码域

### ○ 基于拖尾系数码字的隐写分析方法

- You 等<sup>[1]</sup>对当前基于H.264中CAVLC的视频隐写算法进行了归纳和分析。他们认为，尽管这类算法通常具有较大的嵌入容量和较低的计算复杂度，但存在以下三点局限性。
- 首先，对CAVLC中标识非零系数数量的码字(`Total_Coeffs`, `T1`)进行修改，可能导致在对邻块进行熵解码时，无法选择正确的查找表(`Look-up Table`)对码字`coeff_token`进行解析，从而使得隐写视频发生解码错误。
- 其次，基于CAVLC码字替换的隐写嵌入，将对量化DCT系数造成不可控的扰动，容易导致失真漂移，从而对隐写视频的视听觉感官质量产生较大影响。
- 此外，对拖尾 $\pm 1$ 系数的符号进行调制修改，将对其直方图等统计特性造成明显扰动，从而大幅制约了隐写安全容量。

[1] You W, Cao Y, Zhao X. Information hiding using CAVLC: Misconceptions and a detection strategy//Proceedings of the 16th International Workshop on Digitalforensics and Watermarking, IWDW'17. Magdeburg: Springer, 2017: 187201.

## 3.7 视频隐写分析技术典型算法——熵编码域

### ○ 基于拖尾系数码字的隐写分析方法

- 定义  $\text{Count}_i^{\text{zero}, \text{one} = i - \text{zero}}$  为有  $i (i = 0, 1, 2, 3)$  个拖尾系数码字，且其中包含  $\text{zero}$  个“0”码字（对应拖尾系数为正数）、 $\text{one}$  个“1”码字（对应拖尾系数为负数）的  $4 \times 4$  系数块的计数量。例如， $\text{Count}_3^{\text{zero} = 0, \text{one} = 3}$  表示视频检测区间中，含有3个拖尾系数，且均为负数的  $4 \times 4$  系数块的总个数。
- 实验结果表明，基于拖尾系数符号修改的隐写方法调制后的视频，对于  $\text{Count}_i^{\text{zero}, \text{one} = i - \text{zero}}$  构成的频数分布直方图， $(\text{zero} = a, \text{one} = b)$  和  $(\text{zero} = b, \text{one} = a)$  的值对有一定的均衡趋势。该特性可以用作隐写分析的识别特征，使用直方图攻击进行定量分析。

### 3.9 视频隐写分析技术典型算法——其他

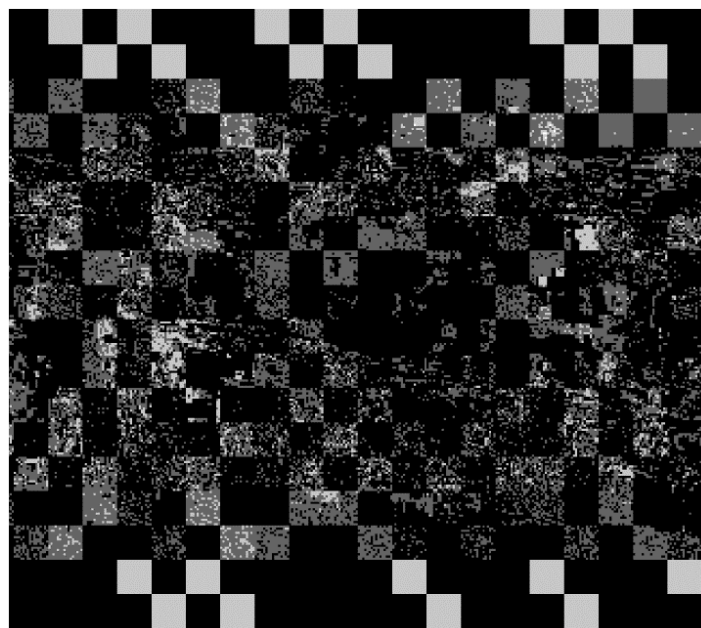
#### ○按照秘密信息的嵌入域

- 帧内预测模式 (Intra Prediction Mode, Intra-PM) 域
- 帧间预测模式 (Inter Prediction Mode, Inter-PM) 域
- 运动向量 (Motion Vector, MV) 域
- 变换系数 (Transform Coefficient) 域
- 量化参数 (Quantization Parameter, QP) 域
- 熵编码 (Entropy Coding) 域
- 其他

## 3.9 视频隐写分析技术典型算法——其他（共享软件）

### ○针对MSU StegoVideo的隐写分析方法

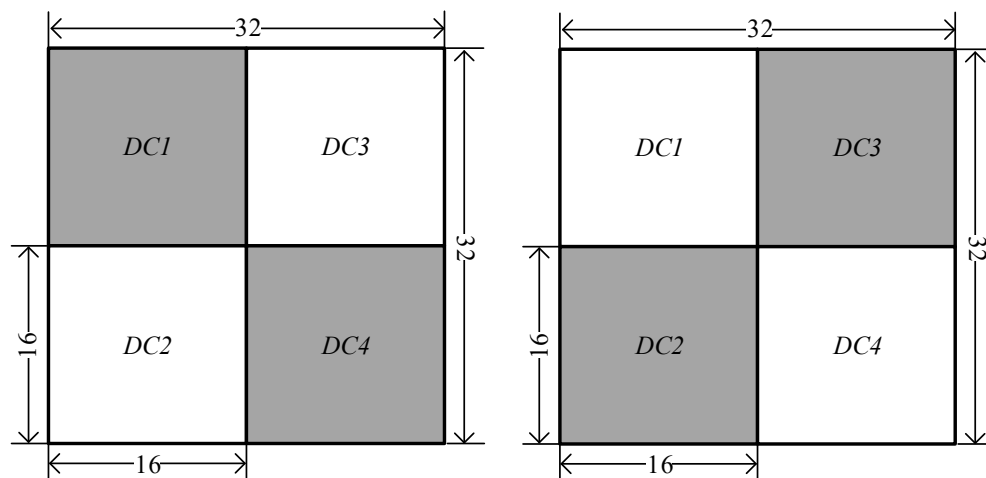
- MSU StegoVideo 可供自由下载使用，但是所用隐写算法和源程序尚未公开。研究人员通过对相关隐写样本进行分析，总结了该软件的一些特性。
- 通过对嵌入后的载密视频与原始视频YUV 序列的差值图像进行观察分析发现，隐写视频帧与原始视频帧的Y（亮度）分量差异在视觉上存在棋盘格分布特征（如下图所示），然而U和V（色度）分量中并没有出现这种分布特征，由此可推知该软件仅在视频帧的Y分量中嵌入秘密消息。



### 3.9 视频隐写分析技术典型算法——其他（共享软件）

#### 针对MSU StegoVideo的隐写分析方法

- 由前图可以看出，MSU StegoVideo 构造了一种特殊的具有 $32 \times 32$ 像素分块大小的嵌入分布模式，其中的4个 $16 \times 16$ 块构成了一种棋盘格分布模式，根据棋盘格中黑/白块的分布，可以分成下图中所示的两种棋盘格分布。MSU StegoVideo 采用这种棋盘格分布的嵌入模式可以增强算法抵抗视频转码处理等操作的鲁棒性。



- 进一步观察和分析发现，MSU StegoVideo 中的棋盘格分布模式按照 $32 \times 32$ 像素块顺序紧密排列，MSU StegoVideo 软件还会对棋盘格边界进行细微的自适应调整，进一步增强算法隐蔽性，并在一定程度上减弱嵌入引起的块效应。

## 3.9 视频隐写分析技术典型算法——其他（共享软件）

### ○ 针对MSU StegoVideo的隐写分析方法

- Wu等<sup>[1]</sup>提出了基于相邻帧差分图像的棋盘格分布模式检测方法。然而，在视频序列存在镜头全局运动以及视频局部运动的情况下，相邻帧之间的差异性加大，会在很大程度上影响检测效果。
- 为了提高隐写分析性能，Ren等<sup>[2]</sup>提出以合谋帧做为待测帧的估计帧，进而对估计帧与待测帧之间的差分图像进行模式识别。同时采用基于下采样块匹配的帧间合谋方法获得原始视频的近似估计，降低镜头全局运动所引发的（对于待测帧的）误判。此外，他们还在针对性检测方法中应用了弃块检测技术，减少了视频帧内局部运动剧烈部分引入的检测误差。

[1] Wu J, Zhang R, Chen M, et al. Steganalysis of MSU Stego Video based on discontinuous coefficient//Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology, ICCET'10. Chengdu: IEEE, 2010: 9699.

[2] Ren Y, Wang M, Zhao Y, et al. Steganalysis of MSU Stego Video based on block matching of interframe collusion and motion detection. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2012, 17(5): 441446.

## 内容提纲（3节课内容）

### 1. 视频隐写技术

- 视频编码基础简要回顾
- 视频隐写技术概述
- 视频隐写技术典型算法
- 小结

### 2. 视频隐写分析技术

- 视频隐写技术简要回顾
- 视频隐写分析技术概述
- 视频隐写分析技术典型算法
- 小结



## 4 小结

### ○ 视频隐写技术简要回顾

### ○ 视频隐写分析技术概述

- 视频隐写分析技术分类
- 视频隐写分析技术基本性质
- 视频隐写分析技术发展现状

### ○ 视频隐写分析技术典型算法

- 帧内预测模式域
- 帧间预测模式域
- 运动向量域
- 变换系数域
- 量化参数域
- 熵编码域
- 其他域

# 谢谢 Q&A

欢迎电子邮件、QQ与微信交流问题！