



## 07.3

# 彩色图像的隐写与隐写分析

---

钮心忻、杨榆、雷敏

北京邮电大学信息安全中心

[yangyu@bupt.edu.cn](mailto:yangyu@bupt.edu.cn)

# 彩色图像

---

- 真彩色图像
  - RGB三种颜色，每种颜色8bit表示
- 调色板图像

# 真彩色图像中的RQP隐写分析

---

- 真彩色图像：RGB三色，每色用8比特表示，可能的颜色数为 $256^3$
- 一般图像实际出现的颜色数 $U$ 要少得多
- 高质量图像 $U/MN$ 为0.8-0.9
- 压缩图像 $U/MN$ 为0.2-0.3
  
- RQP: Raw-Quick-Pair

# 真彩色图像中的RQP隐写分析

---

- 真彩色图像的LSB隐写：在每个像素的三个颜色中均可嵌入1比特
- 可容纳的隐藏信息是灰度图像的三倍
- 隐写会使图像中出现的颜色数目 $U$ 增多，而且产生的新颜色与原有颜色相邻
- 彩色图像中存在大量相邻颜色对，是有隐写的重要迹象

# 真彩色图像中的RQP隐写分析

- 定义相邻颜色对：满足

$$|R_1 - R_2| \leq 1, \quad |G_1 - G_2| \leq 1, \quad |B_1 - B_2| \leq 1$$

- 或

$$(R_1 - R_2)^2 + (G_1 - G_2)^2 + (B_1 - B_2)^2 \leq 3$$

- 用P表示相邻颜色对的数目，计算相邻颜色对的个数占所有颜色可能组成的颜色对的比例

$$Q = \frac{P}{\binom{U}{2}}$$

# 真彩色图像中的RQP隐写分析

---

- 计算被检测图像的Q值，记为 $Q_1$
- 对被测图像用LSB方法嵌入 $3\alpha MN$ 比特，计算Q值，记为 $Q_2$
- 如果
  - 被测图像未隐写， $R=Q_2/Q_1$ 明显大于1
  - 被测图像已隐写，且隐写量很大，则 $R$ 只略大于1，甚至略小于1

# 真彩色图像中的RQP隐写分析

---

## ○ 困难

- 如果原隐写量很小，无法区分是否隐写，隐写分析失效
- 如果原图像颜色数目很多，则加入测试数据的影响相对减小，使得Q2增大不多，导致隐写分析失败

# 真彩色图像中的RQP隐写分析

## ——实验结果

---

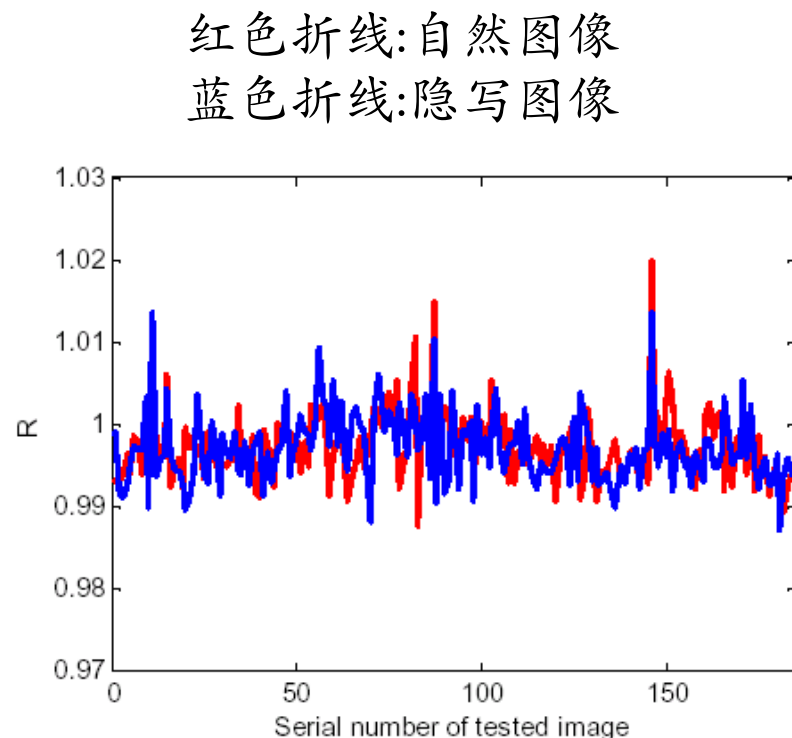
- 185幅彩色图像，尺寸 $284 \times 213$
- 分两组：无隐写图像，有隐写图像
- 隐写量： $3 \times 2/3 \times MN$  ( $=120984$  bit)
- 测试嵌入量： $\alpha=0.05$ ,  $3\alpha MN=9074$  bit



# 真彩色图像中的RQP隐写分析

## ——实验1

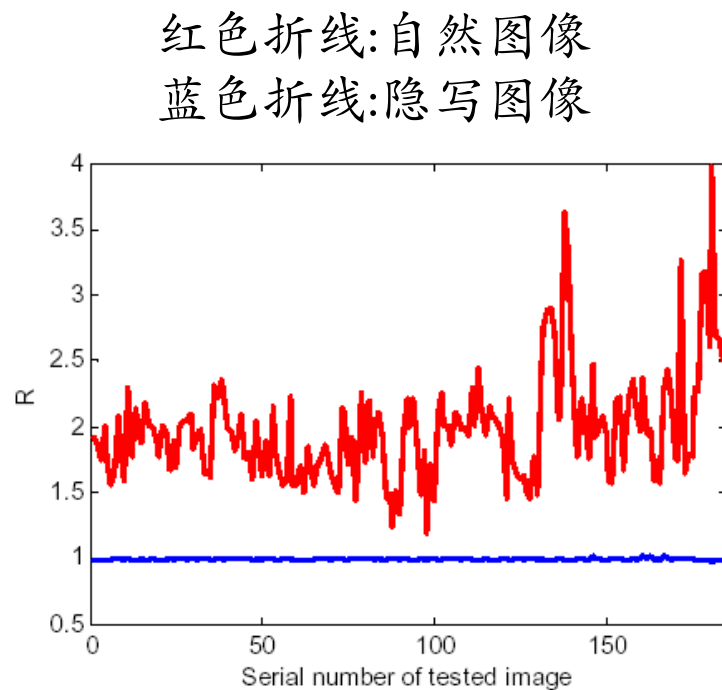
- 原始图像色彩较丰富，颜色数目约占像素总数的67%
- 无法区分是否隐写



# 真彩色图像中的RQP隐写分析

## ——实验2

- 经压缩编码将颜色数降低到45%左右，Q值有明显区别
- 可以区分是否隐写



# 抵抗RQP分析的隐写

---

- RQP分析：基于彩色图像LSB隐写会产生大量的新颜色，并且与已有颜色相邻
- 想法：LSB隐写时尽量不产生新颜色

# 抵抗RQP分析的隐写

---

- 嵌入0

- $R+G+B$  为偶数，不做任何修改

- 嵌入1

- $R+G+B$  为奇数，不做任何修改

# 抵抗RQP分析的隐写

---

- 如果不满足，找与它最相邻的颜色替换
  - 保留像素RGB的高位（记为A000），将变换RGB最低位可能构成的颜色按异或奇偶性分为两组：
    - 偶数颜色组：A000, A011, A101, A110
    - 奇数颜色组：A001, A010, A100, A111
  - 如果要嵌入0
    - 在偶数组中搜索是否有原图象中已有的颜色，一旦找到就将A修改为这一颜色

# 抵抗RQP分析的隐写

- 如果不满足，找与它最相邻的颜色替换
  - 保留像素RGB的高位（记为A000），将变换RGB最低位可能构成的颜色按异或奇偶性分为两组：
    - 偶数颜色组：A000, A011, A101, A110
    - 奇数颜色组：A001, A010, A100, A111
  - 如果要嵌入1
    - 在奇数组中找到已有颜色，改为已有颜色
  - 如果在偶数组（或奇数组）中找不到已有颜色
    - 则产生一个新颜色

# 抵抗RQP分析的隐写

---

## ○ 提取

- 取像素三基色之和的最低比特位，即为隐写信息

## ○ 该算法特点

- 误差仍然在LSB平面上

## ○ 讨论

- 可以进一步扩大搜索范围，使得新增颜色数进一步减少，但降低图像隐写后的感观质量

# 调色板图像中的隐写与隐写分析

---

## ○ 调色板图像

- 用很少的颜色数表示图像（如256色，8比特）
- 对每一个颜色给一个索引值，每一个像素对应一个颜色索引值

## ○ 调色板图像分成两部分

- 调色板
- 图像矩阵



表 4.1.1 颜色索引及对应的真实颜色值

颜色索引	真实颜色值		
	R	G	B
0	167	146	172
1	162	175	210
2	214	167	172
3	176	205	231
4	248	248	248
5	89	78	107
6	207	220	232
7	96	160	210
...	...	...	...

# 基于调色板的隐写

---

- 通过改变调色板中颜色排列顺序来嵌入秘密信息
- 如果调色板颜色数为 $N$ ，则排列顺序共有 $N!$ 种，可嵌入 $b = \text{floor}(\log_2(N!))$ 比特信息，每 $b$ 比特秘密信息对应一种颜色排序

# 基于调色板的隐写

---

## ○ 隐写算法的特点

- 图像内容没有任何修改，无失真
- 隐写嵌入量与颜色数有关，与图像尺寸无关
- 调色板的杂乱无章会引起监控者的怀疑
- 一些图像处理软件会对调色板进行重排，破坏了嵌入信息

# 基于图像内容的隐写

---

- EzStego隐写
- 基于分量和的隐写
- 最佳奇偶分配隐写

## EzStego 隐写

---

- 将调色板中的颜色按照亮度依次排序，每个颜色对应一个亮度序号
  - 亮度计算：

$$Y = 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B$$

- 奇数序号表示嵌入1，偶数序号表示嵌入0

# EzStego 隐写

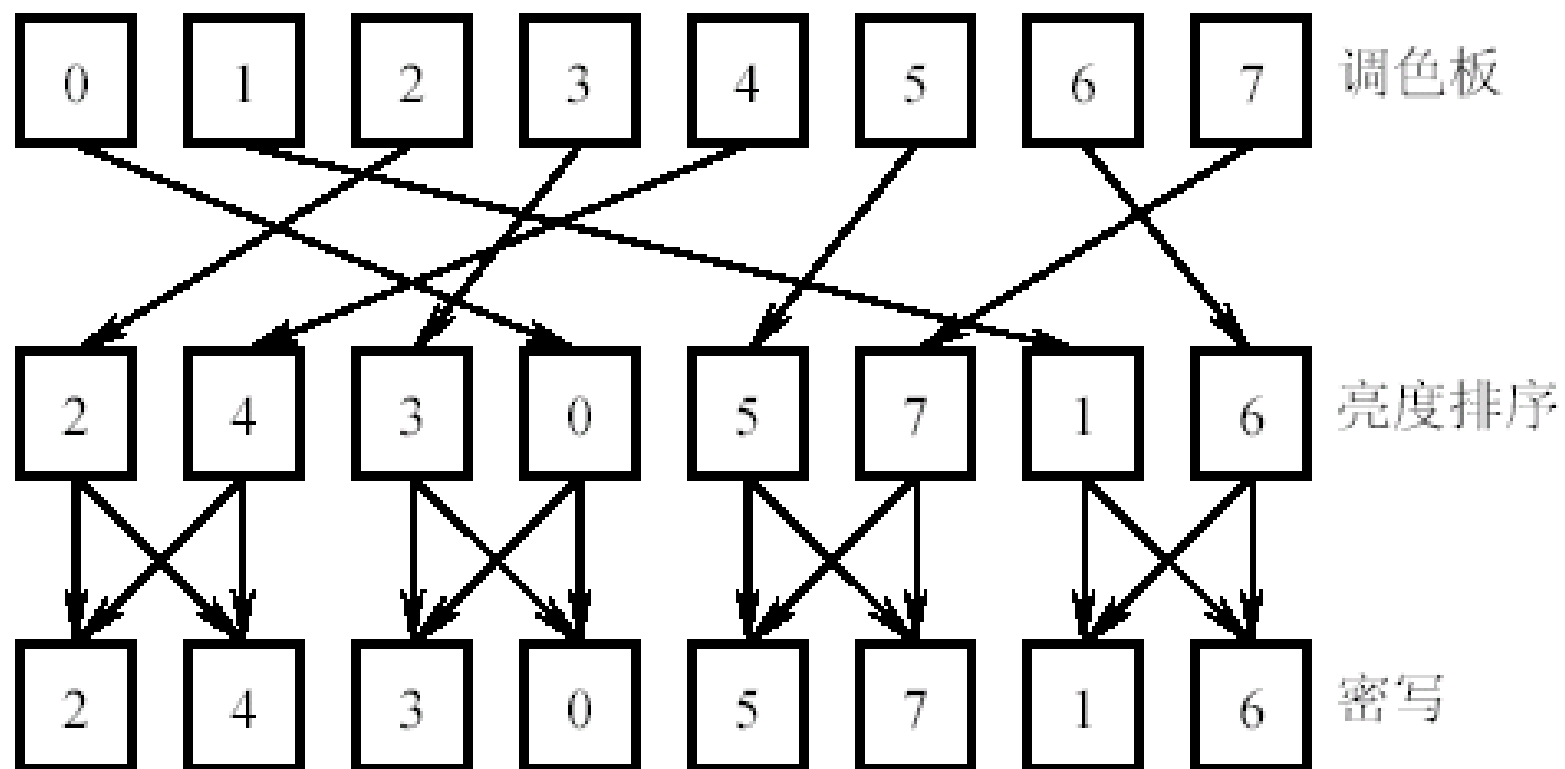


图 4.3.1 EzStego 密写方法示意

# EzStego 隐写

---

## ○ 算法特点

- 针对LSB 隐写的分析方法都可以应用于 EzStego 隐写
- 尽管算法保证了隐写前后的像素亮度变化不大，但真正的颜色变化却有可能比较明显
  - 例如，颜色(95, 0, 0) 与颜色(0, 0, 250)的亮度很接近，但在视觉上，前者是淡红，而后者是深蓝。所以，EzStego 隐写后可能会引起较大的视觉失真

# 基于分量和的隐写

---

## ○ 对EzStego方法的改进

## ○ 隐写方法

- 秘密信息与像素三个分量之和的最低位相同，则不作修改
- 不同，则将像素改为与原始颜色距离最小的、且三个分量之和最低位与秘密信息相同的颜色

$$d = \sqrt{(r_1 - r_2)^2 + (g_1 - g_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}$$



# 最佳奇偶分配隐写

---

- 最佳奇偶分配方法（OPA: optimum parity assignment）
  - 颜色分为两类
    - 任意颜色 $c(k)$ 对应标识 $P(k)$ 为0或1，且有与其距离最近的颜色 $c(l)$ ,且 $P(l)=1-P(k)$
  - 隐藏
    - 若像素颜色标识 $P(k)$ 与秘密信息相同，则不改变
    - 若不同，用 $c(l)$ 代替 $c(k)$
  - 提取
    - 提取颜色标识

# 最佳奇偶分配隐写

---

- 计算不同颜色 $c(k)$ 、 $c(l)$ 之间的距离 $d(k,l)$
- 将所有 $d(k,l)$ 按从小到大排序
- 集合 $C$ 初始值为空
- 选择一个 $d(k,l)$ ，要求 $c(k)$ ， $c(l)$ 至少有一个不属于 $C$ 
  - 若有多个同时满足条件，随机选择其中之一
  - 若不存在满足条件的 $d(k,l)$ ，退出循环
  - 若 $c(k)$ 、 $c(l)$ 皆不属于 $C$ ，令 $P(k)=0, P(l)=1$ ，将 $c(k)$ 、 $c(l)$ 加入 $C$
  - 若 $c(k)$ 属于 $C$ ， $c(l)$ 不属于 $C$ ，令 $P(l)=1-P(k)$ ，将 $c(l)$ 加入 $C$
  - 若 $c(k)$ 不属于 $C$ ， $c(l)$ 属于 $C$ ，令 $P(k)=1-P(l)$ ，将 $c(k)$ 加入 $C$

# 最佳奇偶分配隐写

c(1) c(2) c(3) c(4)			
d(1,2)		d(1,3)	
		d(2,3)	
			d(3,4)

d(1,2)

C	{}
P(1)	
P(2)	
P(3)	
P(4)	

d(1,3)

C	{c(1),c(2)}
P(1)	0
P(2)	1
P(3)	
P(4)	

d(1,4)

C	{c(1),c(2),c(3)}
P(1)	0
P(2)	1
P(3)	1
P(4)	

C	{c(1),c(2),c(3),c(4)}
P(1)	0
P(2)	1
P(3)	1
P(4)	1

# 最佳奇偶分配隐写

---

## ○ 最佳奇偶分配方法

- 将调色板中的颜色划分为两个子集，分别代表0, 1比特
- 与某一颜色距离最小的另一颜色属于不同的子集

## ○ 特点：失真小

# 隐写分析

---

- 基于奇异颜色的分析
- 基于颜色混乱程度的分析

# 隐写分析

## ——基于奇异颜色的分析

---

- 前述方法都是将一部分颜色代表秘密信息0，另一部分颜色代表1。需要修改时，选择另一个集合中的某一个颜色进行替换
- 出现的问题
  - 存在某些颜色，只有它变为其他颜色，没有其他颜色变为它
  - 称为“奇异颜色”

# 隐写分析

## ——基于奇异颜色的分析

---

- 如果图像没有经过隐写
  - 奇异颜色出现的个数，和与它最接近的替换颜色出现的个数，的大小关系比较随机
- 如果图像经过隐写
  - 奇异颜色出现的个数，大多数情况下，都小于替换颜色出现的个数

# 隐写分析

## ——基于奇异颜色的分析

- $h_{s,m}$ : 奇异颜色出现的次数
- $h_{t,m}$ : 与奇异颜色最接近的替换颜色出现的次数

表 4.3.1 原始图象和密写图象中 $h_{t,m}$ 与 $h_{s,m}$ 的比较

密写率 (%)	$h_{t,m} > h_{s,m}$	$h_{t,m} = h_{s,m}$	$h_{t,m} < h_{s,m}$	总数
0 (原始图象)	32	4	29	65
40	49	2	14	65
70	57	3	5	65
100	60	4	1	65



# 隐写分析

## ——基于颜色混乱程度的分析

---

- 假设分析者已知隐写者采用的方案，他能够从调色板知道哪些颜色代表秘密比特0、哪些颜色代表秘密比特1，即可以得到两个子集的分配情况
- 将待检测图象中颜色属于第一个子集的像素用0代替，颜色属于第二个子集的像素用1代替，生成一个二值图象

# 隐写分析

## ——基于颜色混乱程度的分析

---

- 调色板的特点：调色板中的颜色数远远少于真彩色图像中的颜色数。因此，调色板图像很多像素指向同一颜色
- 如果没有隐写，产生的二值图像带有原图像的轮廓
- 如果经过隐写，秘密信息是随机的，并且嵌入位置是随机的，则得到的二值图像是比较混乱的



图 4.3.6 由原始调色板图象生成的二值图象

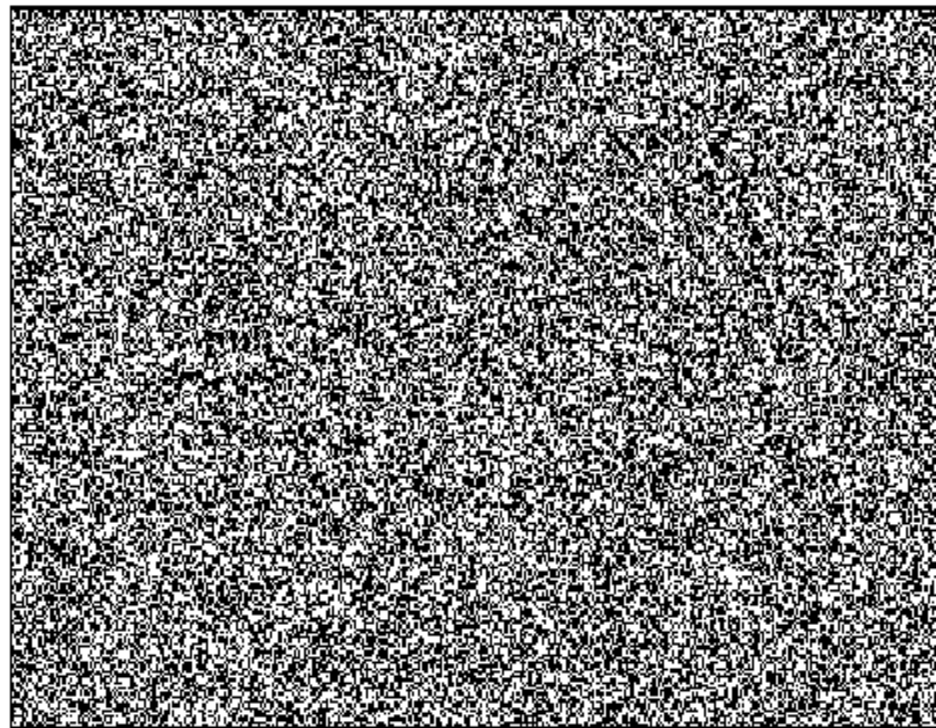


图 4.3.7 由 OPA 密写图象生成的二值图象

# 抵抗隐写分析的调色板隐写

---

## ○ 针对基于奇异颜色的隐写分析

- 想法：使得不出现奇异颜色
- 每个颜色都可以改为其他颜色，其他颜色也都可以改为这种颜色
- 则不会出现奇异颜色
- 失真增大
- 但不能抵抗基于颜色混乱程度的隐写分析

# 抵抗隐写分析的调色板隐写

## ○ 针对基于颜色混乱程度的隐写分析

- 想法：在颜色单一的区域尽量不嵌入秘密信息
- 将原始图像分成 $2 \times 2$ 的小块，计算小块中四个像素颜色与其平均颜色的差距
- 如果差距小于阈值，不在这个小块嵌入
- 如果差距大于阈值，则嵌入4个比特
- 如果嵌入后差距小于阈值，则嵌入无效，在下一小块嵌入
- 特点：在平滑部分不嵌入
- 原图像的轮廓得以保留，可以抵抗基于颜色混乱程度的隐写分析