



07.5 通用隐写分析

钮心忻、杨榆、雷敏

北京邮电大学信息安全中心

yangyu@bupt.edu.cn

通用隐写分析

○ 原理

- 通用隐写分析与专用隐写分析
- 通用隐写分析框架
- 主要通用隐写分析模型

○ 空域富模型

通用隐写分析原理

专用隐写分析

- 早期隐写分析研究方法，思路大体为寻找隐写过程中修改的统计特征，并基于此设计检测算法。特点是“专用”，一个隐写分析算法仅对一个隐写算法有效。例如，卡方分析。

通用隐写分析

- 专用隐写分析方法显然难以适应隐写算法快速发展的特点，研究者希望能寻找到对所有或多数隐写算法都有效的分析算法。这一目标过于理想，难以达成。
- 现有阶段，通用隐写分析实际指分析方法通用，更具体的说，是隐写特征通用。例如，SRM特征几乎能检测同期所有隐写算法。

通用隐写分析原理

通用隐写分析框架

现有通用隐写分析蜕化为通用特征。

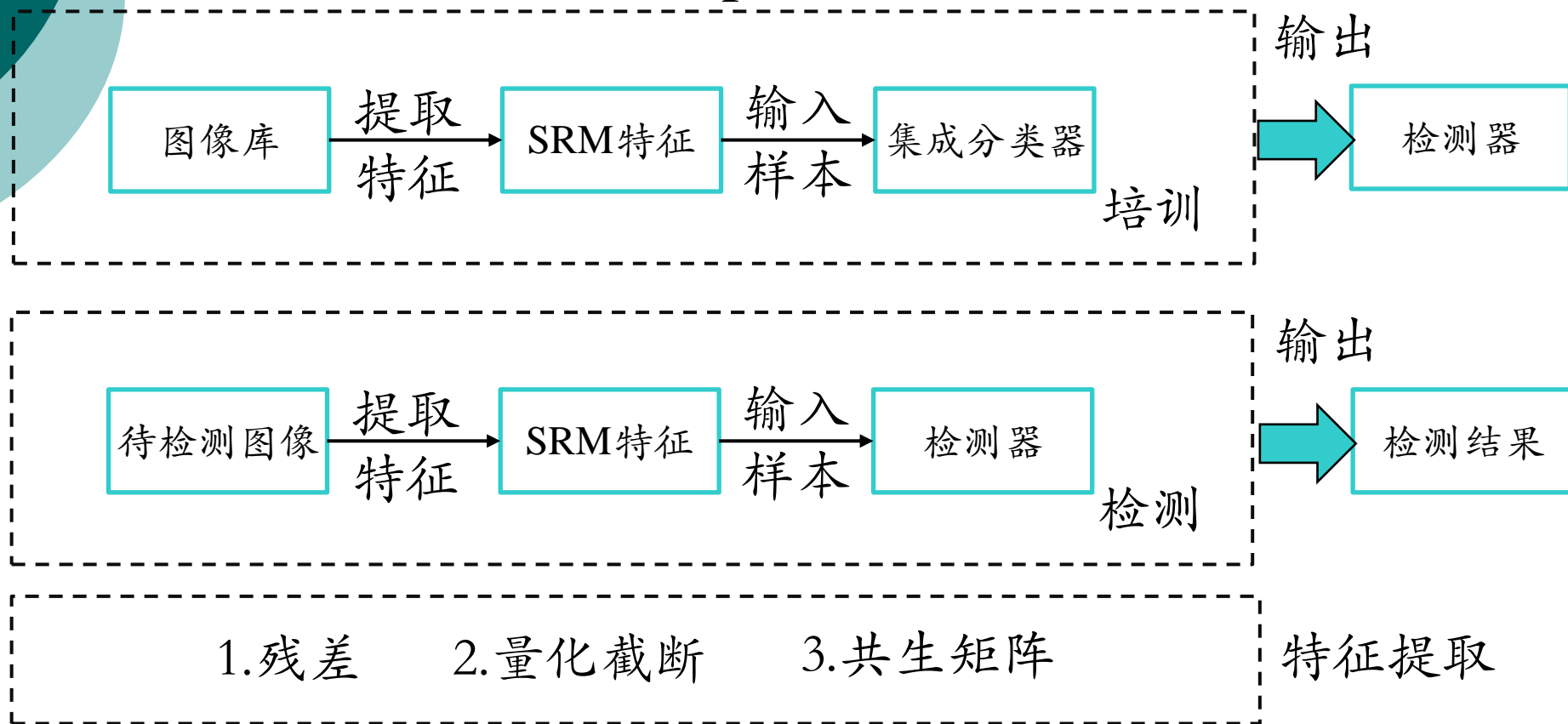
通常选定一个特征模型和机器学习算法，结合特定隐写算法培训产生检测器。

○ 主要通用隐写分析模型

- SPAM: SRM模型的前身
- SRM: 在SPAM基础上，丰富了滤波器，捕捉了多个方向上的像素相关性的变化。
- maxSRMd2: SRM变种，强调了自适应特性。
- PSRM: SRM变种，降低了计算量，更充分地捕捉了隐写痕迹。
- JRM: SRM的JPEG隐写算法检测版。

空域富模型

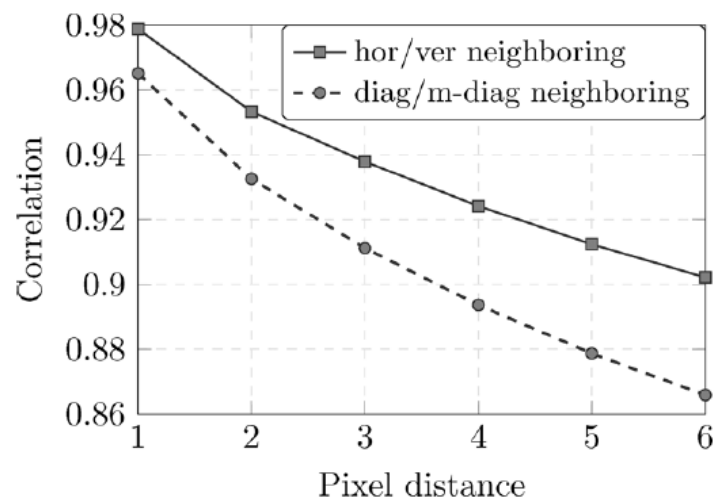
○ 空域富模型 (Spatial Rich Model, SRM)



空域富模型—残差计算

残差

- 图像内容与隐写算法无关，因此，直接根据图像内容提取特征显然是不明智的。
- 研究显示，图像相邻像素之间具有较强的相关性，而隐写会破坏这种相关性。这一痕迹可通过残差检测。
- 残差定义为像素预测值与像素值之差。

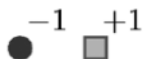
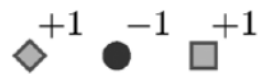


空域富模型—残差计算

残差

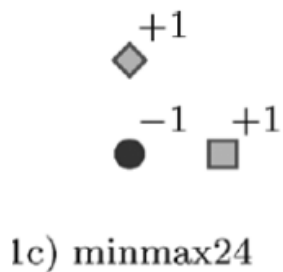
SRM定义了丰富的残差以充分捕获相关性的变化。分为1st和3rd, 2nd, SQUARE, EDGE3x3, 和 EDGE5x5这5个类别。

1阶和3阶有
8个模板

 <p>1a) spam14h,v</p>	<p>水平方向</p> $R_{ij} = X_{i,j+1} - X_{ij} \text{ (一阶)}$ $R_{ij} = -X_{i,j+2} + 3X_{i,j+1} - 3X_{ij} + X_{i,j-1} \text{ (三阶)}$ <p>垂直方向</p> $R_{ij} = X_{i-1,j} - X_{ij} \text{ (一阶)}$ $R_{ij} = -X_{i-2,j} + 3X_{i-1,j} - 3X_{ij} + X_{i,j-1} \text{ (三阶)}$
 <p>1b) minmax22h,v</p>	<p>水平</p> $R_{ij} = \min\{X_{i,j+1} - X_{ij}, X_{i,j-1} - X_{ij}\} \text{ (一阶)}$ $R_{ij} = \min\left\{\begin{matrix} -X_{i,j+2} + 3X_{i,j+1} - 3X_{ij} + X_{i,j-1} \\ -X_{i,j-2} + 3X_{i,j-1} - 3X_{ij} + X_{i,j+1} \end{matrix}\right\} \text{ (三阶)}$ <p>垂直</p> $R_{ij} = \min\{X_{i-1,j} - X_{ij}, X_{i+1,j} - X_{ij}\} \text{ (一阶)}$ $R_{ij} = \min\left\{\begin{matrix} -X_{i-2,j} + 3X_{i-1,j} - 3X_{ij} + X_{i+1,j} \\ -X_{i+2,j} + 3X_{i+1,j} - 3X_{ij} + X_{i-1,j} \end{matrix}\right\} \text{ (三阶)}$

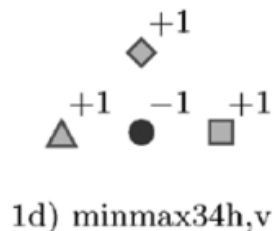
空域富模型—残差计算

1阶和3阶滤波器



$$R_{ij} = \min\{X_{i-1,j} - X_{ij}, X_{i,j+1} - X_{ij}\} \quad (\text{一阶})$$

$$R_{ij} = \min\left\{\begin{array}{l} -X_{i-2,j} + 3X_{i-1,j} - 3X_{ij} + X_{i+1,j}, \\ -X_{i,j+2} + 3X_{i,j+1} - 3X_{ij} + X_{i,j-1} \end{array}\right\} \quad (\text{三阶})$$



水平

$$R_{ij} = \min\left\{\begin{array}{l} -X_{i,j+2} + 3X_{i,j+1} - 3X_{ij} + X_{i,j-1}, \\ -X_{i,j-2} + 3X_{i,j-1} - 3X_{ij} + X_{i,j+1}, \\ -X_{i-2,j} + 3X_{i-1,j} - 3X_{ij} + X_{i+1,j} \end{array}\right\} \quad (\text{三阶})$$

$$R_{ij} = \min\{X_{i-1,j} - X_{ij}, X_{i,j+1} - X_{ij}, X_{i,j-1} - X_{ij}\} \quad (\text{一阶})$$

垂直

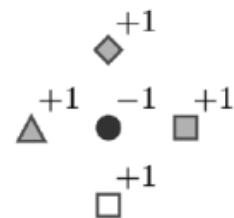
水平

$$R_{ij} = \min\left\{\begin{array}{l} -X_{i-2,j} + 3X_{i-1,j} - 3X_{ij} + X_{i+1,j}, \\ -X_{i,j-2} + 3X_{i,j-1} - 3X_{ij} + X_{i,j+1}, \\ -X_{i-2,j} + 3X_{i-1,j} - 3X_{ij} + X_{i+1,j} \end{array}\right\} \quad (\text{三阶})$$

$$R_{ij} = \min\{X_{i-1,j} - X_{ij}, X_{i-1,j} - X_{ij}, X_{i,j-1} - X_{ij}\} \quad (\text{一阶})$$

空域富模型—残差计算

残差(1阶和3阶)



1e) minmax41

$$R_{ij} = \min\{X_{i-1,j} - X_{ij}, X_{i,j+1} - X_{ij}, X_{i,j-1} - X_{ij}, X_{i+1,j} - X_{ij}\} \quad (\text{一阶})$$

$$R_{ij} = \min \left\{ \begin{array}{l} -X_{i,j+2} + 3X_{i,j+1} - 3X_{ij} + X_{i,j-1}, \\ -X_{i,j-2} + 3X_{i,j-1} - 3X_{ij} + X_{i,j+1}, \\ -X_{i-2,j} + 3X_{i-1,j} - 3X_{ij} + X_{i+1,j}, \\ -X_{i+2,j} + 3X_{i+1,j} - 3X_{ij} + X_{i-1,j} \end{array} \right\} \quad (\text{三阶})$$

1阶和3阶滤波器



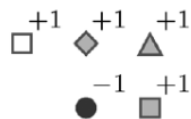
1f) minmax34

$$R_{ij} = \min\{X_{i-1,j} - X_{ij}, X_{i,j+1} - X_{ij}, X_{i-1,j+1} - X_{ij}\} \quad (\text{一阶})$$

$$R_{ij} = \min \left\{ \begin{array}{l} -X_{i-2,j} + 3X_{i-1,j} - 3X_{ij} + X_{i+1,j}, \\ -X_{i,j+2} + 3X_{i,j+1} - 3X_{ij} + X_{i,j-1}, \\ -X_{i-2,j+2} + 3X_{i-1,j+1} - 3X_{ij} + X_{i+1,j-1} \end{array} \right\} \quad (\text{三阶})$$

空域富模型—残差计算

残差(1阶和3阶)



1g) minmax48h,v

水平

$$R_{ij} = \min\{X_{i-1,j} - X_{ij}, X_{i,j+1} - X_{ij}, X_{i-1,j+1} - X_{ij}, X_{i-1,j-1} - X_{ij}\} \quad (\text{一阶})$$

$$R_{ij} = \min \left\{ \begin{array}{l} -X_{i-2,j} + 3X_{i-1,j} - 3X_{ij} + X_{i+1,j}, \\ -X_{i,j+2} + 3X_{i,j+1} - 3X_{ij} + X_{i,j-1}, \\ -X_{i-2,j+2} + 3X_{i-1,j+1} - 3X_{ij} + X_{i+1,j-1}, \\ -X_{i-2,j-2} + 3X_{i-1,j-1} - 3X_{ij} + X_{i+1,j+1} \end{array} \right\} \quad (\text{三阶})$$

垂直

实三	实方		
实菱	黑点		
空方			

水平

$$R_{ij} = \min\{X_{i-1,j} - X_{ij}, X_{i,j-1} - X_{ij}, X_{i+1,j-1} - X_{ij}, X_{i-1,j-1} - X_{ij}\} \quad (\text{一阶})$$

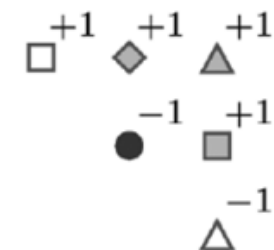
$$R_{ij} = \min \left\{ \begin{array}{l} -X_{i-2,j} + 3X_{i-1,j} - 3X_{ij} + X_{i+1,j}, \\ -X_{i,j-2} + 3X_{i,j-1} - 3X_{ij} + X_{i,j+1}, \\ -X_{i+2,j-2} + 3X_{i+1,j-1} - 3X_{ij} + X_{i-1,j+1}, \\ -X_{i-2,j-2} + 3X_{i-1,j-1} - 3X_{ij} + X_{i+1,j+1} \end{array} \right\} \quad (\text{三阶})$$

1阶和3阶滤波器

空域富模型—残差计算

残差(1阶和3阶)

1阶和3阶滤波器



$$R_{ij} = \min \left\{ \begin{array}{l} X_{i-1,j} - X_{ij}, \\ X_{i,j+1} - X_{ij}, \\ X_{i-1,j+1} - X_{ij}, \\ X_{i-1,j-1} - X_{ij}, \\ X_{i+1,j+1} - X_{ij} \end{array} \right\} \quad (\text{一阶})$$

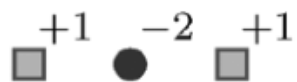
$$R_{ij} = \min \left\{ \begin{array}{l} -X_{i-2,j} + 3X_{i-1,j} - 3X_{ij} + X_{i+1,j}, \\ -X_{i,j+2} + 3X_{i,j+1} - 3X_{ij} + X_{i,j-1}, \\ -X_{i-2,j+2} + 3X_{i-1,j+1} - 3X_{ij} + X_{i+1,j-1}, \\ -X_{i-2,j-2} + 3X_{i-1,j-1} - 3X_{ij} + X_{i+1,j+1}, \\ -X_{i+2,j+2} + 3X_{i+1,j+1} - 3X_{ij} + X_{i-1,j-1} \end{array} \right\} \quad (\text{三阶})$$

每个 min 都有一个对应的 max

空域富模型—残差计算

2阶滤波器

残差(2阶)



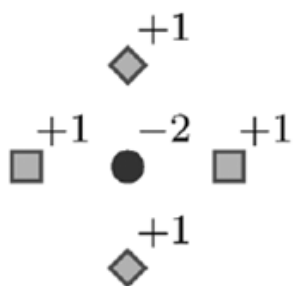
2a) spam12h,v

水平 ↵

$$R_{ij} = X_{i,j+1} + X_{i,j-1} - 2X_{ij} \quad (\text{二阶}) \quad \text{↵}$$

垂直 ↵

$$R_{ij} = X_{i-1,j} + X_{i+1,j} - 2X_{ij} \quad (\text{二阶}) \quad \text{↵}$$



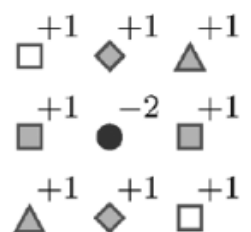
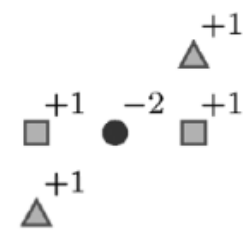
2b) minmax21

$$R_{ij} = \min \left\{ \begin{array}{l} X_{i-1,j} + X_{i+1,j} - 2X_{ij}, \\ X_{i,j+1} + X_{i,j-1} - 2X_{ij} \end{array} \right\} \quad (\text{二阶}) \quad \text{↵}$$

空域富模型—残差计算

2阶滤波器

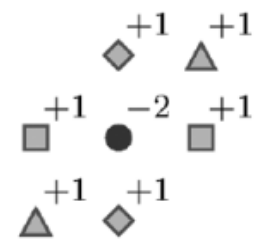
残差(2阶)

 <p>2c) minmax41</p>	$R_{ij} = \min \left\{ \begin{array}{l} X_{i-1,j} + X_{i+1,j} - 2X_{ij}, \\ X_{i,j+1} + X_{i,j-1} - 2X_{ij}, \\ X_{i-1,j+1} + X_{i+1,j-1} - 2X_{ij}, \\ X_{i-1,j-1} + X_{i+1,j+1} - 2X_{ij}, \end{array} \right\} \quad (\text{二阶})$
 <p>2d) minmax24h,v</p>	<p>水平</p> $R_{ij} = \min \left\{ \begin{array}{l} X_{i,j+1} + X_{i,j-1} - 2X_{ij}, \\ X_{i-1,j+1} + X_{i+1,j-1} - 2X_{ij} \end{array} \right\} \quad (\text{二阶})$ <p>垂直</p> $R_{ij} = \min \left\{ \begin{array}{l} X_{i-1,j} + X_{i+1,j} - 2X_{ij}, \\ X_{i-1,j-1} + X_{i+1,j+1} - 2X_{ij} \end{array} \right\} \quad (\text{二阶})$

空域富模型—残差计算

2阶滤波器

残差(2阶)



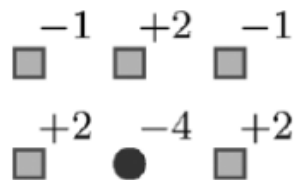
2e) minmax32

$$R_{ij} = \min \left\{ \begin{array}{l} X_{i,j+1} + X_{i,j-1} - 2X_{ij}, \\ X_{i-1,j} + X_{i+1,j} - 2X_{ij} \\ X_{i-1,j+1} + X_{i+1,j-1} - 2X_{ij} \end{array} \right\} \quad (\text{二阶})$$

空域富模型—残差计算

EDGE3x3滤波器

残差(EDGE3x3)



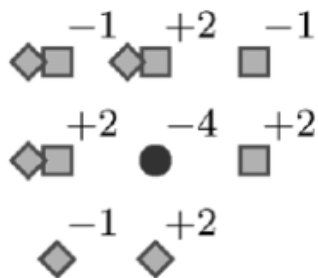
E3a) spam14h,v

垂直:

$$R_{ij} = 2X_{i+1,j} + 2X_{i,j-1} + 2X_{i-1,j} - X_{i-1,j-1} - X_{i+1,j-1} - 4X_{ij} \quad (\text{四阶})$$

水平:

$$R_{ij} = 2X_{i,j+1} + 2X_{i,j-1} + 2X_{i-1,j} - X_{i-1,j-1} - X_{i-1,j+1} - 4X_{ij} \quad (\text{四阶})$$



E3b) minmax24

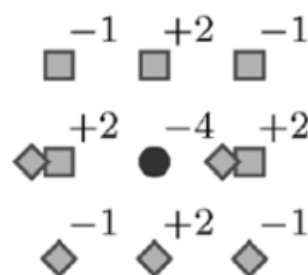
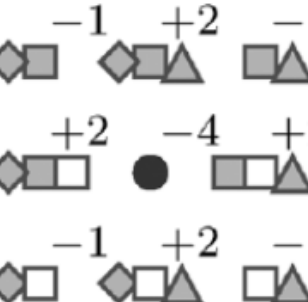
$$R_{ij} = \min \begin{cases} 2X_{i,j+1} + 2X_{i,j-1} + 2X_{i-1,j} - X_{i-1,j-1} - X_{i-1,j+1} - 4X_{ij}, \\ 2X_{i-1,j} + 2X_{i,j-1} + 2X_{i+1,j} - X_{i-1,j-1} - X_{i+1,j-1} - 4X_{ij} \end{cases}$$

四阶

空域富模型—残差计算

EDGE3x3滤波器

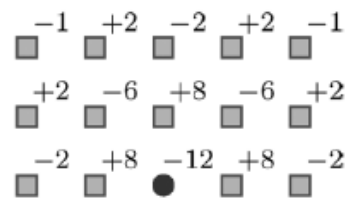
残差(EDGE3x3)

 <p>E3c) minmax22h,v</p>	<p>水平: ↺</p> $R_{ij} = \min \begin{cases} 2X_{i,j+1} + 2X_{i,j-1} + 2X_{i-1,j} - X_{i-1,j-1} - X_{i-1,j+1} - 4X_{ij}, \\ 2X_{i,j+1} + 2X_{i,j-1} + 2X_{i+1,j} - X_{i+1,j-1} - X_{i+1,j+1} - 4X_{ij} \end{cases} \quad \leftarrow$ <p>垂直: ↻</p> $R_{ij} = \min \begin{cases} 2X_{i+1,j} + 2X_{i,j-1} + 2X_{i-1,j} - X_{i-1,j-1} - X_{i+1,j-1} - 4X_{ij}, \\ 2X_{i,j+1} + 2X_{i-1,j} + 2X_{i+1,j} - X_{i+1,j+1} - X_{i-1,j+1} - 4X_{ij} \end{cases} \quad \leftarrow$
 <p>E3d) minmax41</p>	$R_{ij} = \min \begin{cases} 2X_{i,j+1} + 2X_{i,j-1} + 2X_{i-1,j} - X_{i-1,j-1} - X_{i-1,j+1} - 4X_{ij}, \\ 2X_{i,j+1} + 2X_{i,j-1} + 2X_{i-1,j} - X_{i+1,j-1} - X_{i+1,j+1} - 4X_{ij}, \\ 2X_{i,j+1} + 2X_{i+1,j} + 2X_{i-1,j} - X_{i+1,j+1} - X_{i-1,j+1} - 4X_{ij}, \\ 2X_{i,j-1} + 2X_{i+1,j} + 2X_{i-1,j} - X_{i+1,j-1} - X_{i-1,j-1} - 4X_{ij} \end{cases} \quad \leftarrow$

空域富模型—残差计算

EDGE5x5滤波器

残差(EDGE5x5)



A 5x5 grid of numbers representing a kernel. The center cell (3,3) is a solid black circle with the value -12. All other cells are gray squares. The values are: Row 1: -1, +2, -2, +2, -1; Row 2: +2, -6, +8, -6, +2; Row 3: -2, +8, -12, +8, -2.

-1	+2	-2	+2	-1
+2	-6	+8	-6	+2
-2	+8	-12	+8	-2

E5aspamh,v

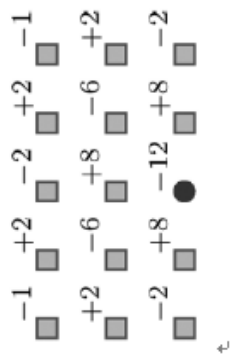
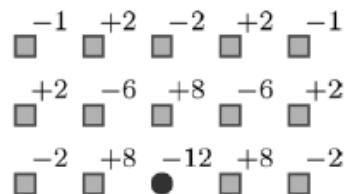
水平:

$$\begin{aligned} R_{ij} = & 8(X_{i,j+1} + X_{i,j-1} + X_{i-1,j}) - 6(X_{i-1,j-1} + X_{i-1,j+1}) \\ & + 2(X_{i-2,j-1} - X_{i-2,j} + X_{i-2,j+1}) \\ & + 2(X_{i-1,j-2} - X_{i,j-2}) + 2(X_{i-1,j+2} - X_{i,j+2}) \\ & - (X_{i-2,j+2} + X_{i-2,j-2}) - 12X_{ij} \end{aligned}$$

空域富模型—残差计算

EDGE5x5滤波器

残差(EDGE5x5)



和

E5bminmax

$$R_{ij}^0 = 8(X_{i,j+1} + X_{i,j-1} + X_{i-1,j}) - 6(X_{i-1,j-1} + X_{i-1,j+1}) \\ + 2(X_{i-2,j-1} - X_{i-2,j} + X_{i-2,j+1}) \\ + 2(X_{i-1,j-2} - X_{i,j-2}) + 2(X_{i-1,j+2} - X_{i,j+2}) \\ - (X_{i-2,j+2} + X_{i-2,j-2}) - 12X_{ij}$$

$$R_{ij}^{-\pi/2} = 8(X_{i,j-1} + X_{i-1,j} + X_{i+1,j}) - 6(X_{i-1,j-1} + X_{i+1,j-1}) \\ + 2(X_{i-1,j-2} - X_{i,j-2} + X_{i+1,j-2}) \\ + 2(X_{i-2,j-1} - X_{i-2,j}) + 2(X_{i+2,j-1} - X_{i+2,j}) \\ - (X_{i-2,j-2} + X_{i+2,j-2}) - 12X_{ij}$$

$$R_{ij} = \min\{R_{ij}^0, R_{ij}^{-\pi/2}\}$$

空域富模型—残差计算

残差(EDGE5x5)

EDGE5x5滤波器

$$\begin{array}{ccccc}
 -1 & +2 & -2 & +2 & -1 \\
 +2 & -6 & +8 & -6 & +2 \\
 -2 & +8 & -12 & +8 & -2
 \end{array}$$

和

$$\begin{array}{ccccc}
 z- & 8+ & zI- & 8+ & z- \\
 z+ & 9- & 8+ & 9- & z+ \\
 1- & z+ & z- & z+ & 1-
 \end{array}$$

E5cminmaxh,v

水平:

$$\begin{aligned}
 R_{ij}^0 = & 8(X_{i,j+1} + X_{i,j-1} + X_{i-1,j}) - 6(X_{i-1,j-1} + X_{i-1,j+1}) \\
 & + 2(X_{i-2,j-1} - X_{i-2,j} + X_{i-2,j+1}) \\
 & + 2(X_{i-1,j-2} - X_{i,j-2}) + 2(X_{i-1,j+2} - X_{i,j+2}) \\
 & - (X_{i-2,j+2} + X_{i-2,j-2}) - 12X_{ij}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{ij}^{-\pi} = & 8(X_{i,j+1} + X_{i,j-1} + X_{i+1,j}) - 6(X_{i+1,j-1} + X_{i+1,j+1}) \\
 & + 2(X_{i+2,j-1} - X_{i+2,j} + X_{i+2,j+1}) \\
 & + 2(X_{i+1,j-2} - X_{i,j-2}) + 2(X_{i+1,j+2} - X_{i,j+2}) \\
 & - (X_{i+2,j+2} + X_{i+2,j-2}) - 12X_{ij}
 \end{aligned}$$

$$R_{ij} = \min\{R_{ij}^0, R_{ij}^{-\pi}\}$$

空域富模型—残差计算

EDGE5x5滤波器

残差(EDGE5x5)

$$\begin{array}{ccccc} -1 & +2 & -2 & +2 & -1 \\ \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare \\ +2 & -6 & +8 & -6 & +2 \\ \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare \\ -2 & +8 & -12 & +8 & -2 \\ \blacksquare & \blacksquare & \bullet & \blacksquare & \blacksquare \end{array}$$

和

$$\begin{array}{ccccc} \blacksquare & \blacksquare & \bullet & \blacksquare & \blacksquare \\ 8- & 8+ & 8- & 8+ & 8- \\ \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare \\ 9- & 9- & 8+ & 9- & 9- \\ \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare \\ 1- & 2+ & 2- & 2+ & 1- \end{array}$$

和

$$\begin{array}{ccccc} -1 & & & & -2 \\ \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare \\ +2 & & -6 & & +8 \\ \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare \\ -2 & & +8 & & -12 \\ \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare \\ +2 & & -6 & & +8 \\ \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare \\ -1 & & & & -2 \\ \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare & \blacksquare \end{array}$$

2 E5d minmax

$$\begin{aligned} R_{ij}^0 = & 8(X_{i,j+1} + X_{i,j-1} + X_{i-1,j}) - 6(X_{i-1,j-1} + X_{i-1,j+1}) \\ & + 2(X_{i-2,j-1} - X_{i-2,j} + X_{i-2,j+1}) \\ & + 2(X_{i-1,j-2} - X_{i,j-2}) + 2(X_{i-1,j+2} - X_{i,j+2}) \\ & - (X_{i-2,j+2} + X_{i-2,j-2}) - 12X_{ij} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{ij}^{-\pi/2} = & 8(X_{i,j-1} + X_{i-1,j} + X_{i+1,j}) - 6(X_{i-1,j-1} + X_{i+1,j-1}) \\ & + 2(X_{i-1,j-2} - X_{i,j-2} + X_{i+1,j-2}) \\ & + 2(X_{i-2,j-1} - X_{i-2,j}) + 2(X_{i+2,j-1} - X_{i+2,j}) \\ & - (X_{i-2,j-2} + X_{i+2,j-2}) - 12X_{ij} \end{aligned}$$

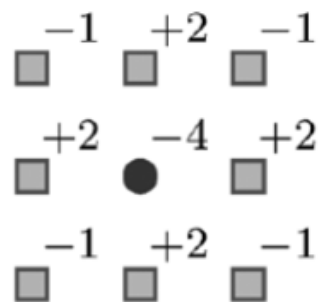
$$\begin{aligned} R_{ij}^{-\pi} = & 8(X_{i,j+1} + X_{i,j-1} + X_{i+1,j}) - 6(X_{i+1,j-1} + X_{i+1,j+1}) \\ & + 2(X_{i+2,j-1} - X_{i+2,j} + X_{i+2,j+1}) \\ & + 2(X_{i+1,j-2} - X_{i,j-2}) + 2(X_{i+1,j+2} - X_{i,j+2}) \\ & - (X_{i+2,j+2} + X_{i+2,j-2}) - 12X_{ij} \end{aligned}$$

$$R_{ij} = \min\{R_{ij}^0, R_{ij}^{-\pi/2}, R_{ij}^{-\pi}\}$$

空域富模型—残差计算

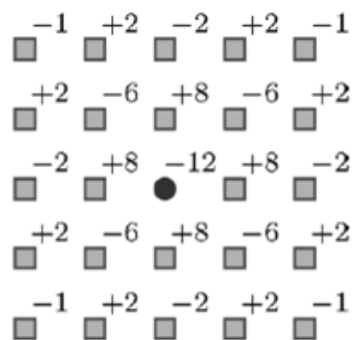
残差(SQUARE)

SQUARE滤波器



S3a) spam11

$$R_{ij} = 2X_{i,j+1} + 2X_{i,j-1} + 2X_{i-1,j} + 2X_{i+1,j} - X_{i-1,j-1} - X_{i+1,j-1} - X_{i-1,j+1} - X_{i+1,j+1} - 4X_{ij} \quad \text{四阶}$$



S5a)spam11

$$R_{ij} = 8(X_{i,j+1} + X_{i,j-1} + X_{i-1,j} + X_{i+1,j}) - 6(X_{i-1,j-1} + X_{i+1,j-1} + X_{i-1,j+1} + X_{i+1,j+1}) + 2(X_{i-2,j-1} - X_{i-2,j} + X_{i-2,j+1}) + 2(X_{i+2,j-1} - X_{i+2,j} + X_{i+2,j+1}) + 2(X_{i-1,j-2} - X_{i,j-2} + X_{i+1,j-2}) + 2(X_{i-1,j+2} - X_{i,j+2} + X_{i+1,j+2}) - (X_{i-2,j+2} + X_{i-2,j-2} + X_{i+2,j-2} + X_{i+2,j+2}) - 12X_{ij} \quad \text{十二阶}$$

空域富模型

量化和截断

- $R_{ij} \leftarrow \text{trunc}_T \left(\text{round} \left(\frac{R_{ij}}{q} \right) \right)$
- 残差先以步长 q 量化。量化是为了使图像的不连续区域的残差，例如边缘和纹理残差，对隐写更敏感。
- 量化后的残差还需要截断。后续步骤需要计算量化残差的共生矩阵，截断可以抑制量化残差的动态范围，降低共生矩阵的规模。

空域富模型

SRM中，T取值为2，因此共有 $(2T+1)^4=625$ 种矢量。Z为归一化因子，使得C的所有元素之和为1。共生矩阵也可从垂直方向扫描。

共生矩阵

共生矩阵用于描述相关性的变化，定义如下：

$$C_d^{(h)} = \frac{1}{Z} \left| \left\{ (R_{ij}, R_{i,j+1}, R_{i,j+2}, R_{i,j+3}) \mid \right. \right. \\ \left. \left. R_{i,j+k-1} = d_k, k = 1, \dots, 4 \right\} \right|$$
$$\sum_{\mathbf{d} \in \mathcal{T}_4} C_{\mathbf{d}}^{(h)} = 1$$
$$\mathbf{d} = (d_1, d_2, d_3, d_4) \in \mathcal{T}_4 \triangleq \{-T, \dots, T\}^4,$$

空域富模型

其他要点

计算残差时，如果图像旋转90度前后，计算所得残差不变，那么称残差没有方向性（nondirectional）。

共生矩阵对称性

- 水平方向扫描所得共生矩阵（记为 C_h ），和垂直方向扫描所得共生矩阵（记为 C_v ），两者之和为矩阵 C （即 $C=C_h+C_v$ ）。如这个新矩阵 C 对图像具有旋转不变性（旋转90度前后，产生的矩阵 C 相同），那么称残差具有 h,v 对称性。
- 显而易见，不具方向性的残差，一定具有 h,v 对称性。部份具有方向性的残差，也具有 h,v 对称性。
- 不考虑共生矩阵对称性时，共有78个共生矩阵，每个共生矩阵625维。综合考虑各类对称性，去除冗余后，SRM特征维度降为12753维。