

# 基于抖动及图像融合的计算机视频信息防泄漏研究

邱 扬, 闫美云, 经 伟, 田 锦

(西安电子科技大学机电工程学院, 陕西西安 710071)

**摘 要:** 本文提出了基于抖动及图像融合的视频信息泄漏防护方法, 确定了伪装图像的像素值、字符大小与抖动函数的匹配性等关键参数的设置条件, 研究了有用信息与伪装信息的图像融合算法, 并通过仿真及试验, 验证了理论分析的正确性和有效性.

**关键词:** 视频信息; 防泄漏; 抖动; 图像融合

**中图分类号:** TP309

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0372-2112 (2008) 12-2493-04

## Research on Anti-leakage of Computer Video Signal Based on Dither and Image Fusion

QIU Yang, YAN Mei yun, JING Wei, TIAN Jin

(School of Mechano-Electronic Engineering of Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

**Abstract:** A method of anti compromising emanations of video information based on dither and image fusion is presented. Significant parameters setting conditions, such as pix value of dither image, sizes of font, and dither functions match are confirmed. Image fusion algorithm of useful and dithering image is studied deeply. The correctness and effectiveness of presented theory are proved through simulation and experiment.

**Key words:** video information; anti compromising emanation; dither; image fusion

### 1 引言

计算机视频信息是典型的红信息, 是计算机系统中辐射最强、最容易被截获和复现的信息<sup>[1, 2]</sup>. 根据电磁理论及信息截获理论, 携带有用信息的信号所对应的频率越高, 则在视频电缆长度相同以及在同一截获距离上, 其场强越大, 被截获的可能性也就越大. 以往视频信息防泄漏研究多集中于屏蔽、模拟滤波等传统的包容<sup>[3]</sup>方法, 但随着显示技术的快速发展, 显示器的高分辨率与宽辐射频带的矛盾日益突出, 致使传统的包容方法受到了很大的制约, 产生了基于数字滤波的视频信息泄漏抑制等新方法<sup>[4]</sup>.

针对计算机视频信息的特点以及信息截获原理, 本文提出了基于抖动及图像融合的视频信息防泄漏方法, 即通过对伪装信息进行抖动处理增大其高频分量, 并将其与未做抖动处理的有用信息进行叠加的方法. 论文确定了伪装图像的像素值、字符大小与抖动函数的匹配性等关键参数的设置条件, 研究了有用信息与伪装抖动信息的图像融合算法, 并通过仿真及试验验证了“将伪装抖动信息图像与有用信息图像进行融合, 可使得截获方在一定截获距离上只能截获到伪装信息, 而无法截获有用信息”的预期结论. 该方法还可与对有用信息进行数

字滤波的方法<sup>[4]</sup>结合使用, 进一步抑制有用信息的高频发射频率, 更加有效地提高防计算机视频信息泄漏的抑制效果.

### 2 图像的抖动与频率搬移

设原始视频信号为  $x(t)$ , 抖动信号为  $a(t)$ . 将两者相乘并进行傅立叶变换, 可得抖动后函数  $y(t)$  的傅立叶变换

$$\begin{aligned} Y(\omega) &= \frac{1}{2\pi} X(\omega) * A(\omega) \\ &= \frac{1}{2\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin[(2n-1)\pi/2]}{(2n-1)\pi/2} X[\omega(2n-1)\Omega] \quad (1) \end{aligned}$$

式中,  $Y(\omega)$ 、 $X(\omega)$ 、 $A(\omega)$  分别为  $y(t)$ 、 $x(t)$ 、 $a(t)$  的傅立叶变换,  $\Omega = 2\pi/T$  为抖动信号的基波频率,  $T$  为  $a(t)$  周期. 由式(1)可以看出, 原始视频信号  $x(t)$  经过抖动信号  $a(t)$  处理后, 其频谱变更为以周期为  $2\Omega$  的高频延拓. 图1给出了1号H字符  $x(t)$  在  $1024 \times 768 @ 75$  显示模式下, 经过频率为  $40\text{MHz}$  (点频的  $1/2$ ) 的抖动函数处理前、后的时/频特征. 从图1(d)、(e)可以看出, 抖动处理后, 其频谱被搬移到  $40\text{MHz}$  奇数倍频上, 高频分量明显增多. 由此可见, 将伪装视频信息经过抖动处理, 就可以大大增加伪装视频信息被截获的距离.

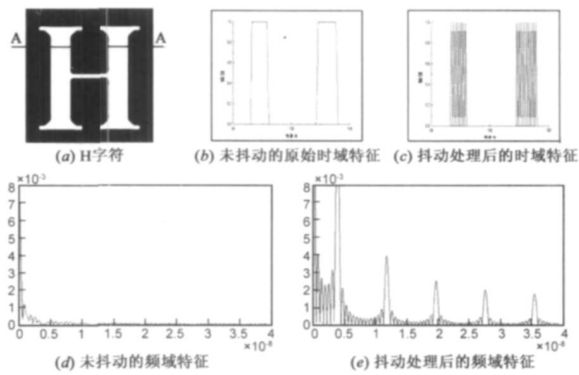


图1 H字符A-A处抖动前后的时/频特征

### 3 有用视频信息与伪装抖动信息的图像融合

为了避免图像融合时有用信息也被抖动,就必须根据图像显示原理,合理确定伪装信息的像素值、抖动函数以及相关的图像融合算法。

#### 3.1 图像抖动及融合算法

设合成图像的像素值  $S_{x,y}$  为归一化像素值。

$$S_{x,y} = C_{x,y} + E_{x,y} \cdot d_{x,y} \mid_n \quad (2)$$

式中,  $x, y$  分别为图像像素点的行、列值,  $C_{x,y}, E_{x,y}$  分别为有用图像和伪装图像的归一化像素值,  $d_{x,y} \mid_n$  为相隔  $n(1, 2, 3 \dots)$  个像素点抖动的广义抖动函数:

$$d_{x,y} \mid_n = (-1)^{y+\lfloor \frac{x}{n} \rfloor} \quad (3)$$

由式(3)可看出:抖动函数随像素点位置  $x, y$  以及像素点抖动间隔  $n$  的变化,呈现 1、-1 高低电平的突变,从而增大了伪装抖动信息  $E_{x,y} \cdot d_{x,y} \mid_n$  高频量级。

图2中(a)、(b)以及(c)的图像数据分别对应于式(2)中的  $C_{x,y}, E_{x,y}$  以及  $E_{x,y} \cdot d_{x,y} \mid_n$ 。

进一步地,为确保  $S_{x,y} \in [0, 1]$ , 分别引入有用信息像素值缩小系数  $\alpha$  和伪装信息抖动系数  $\beta$ , 则式(2)变



图2

为  $S_{x,y} = \alpha \cdot C_{x,y} + \beta \cdot E_{x,y} \cdot d_{x,y} \mid_n$ , 又设  $\varepsilon(S_{x,y}) = \begin{cases} 0, & S_{x,y} < 0 \\ 1, & S_{x,y} \geq 0 \end{cases}$ , 同时考虑到合成图像有用信息的可读性,

即有用图像成分应大于伪装图像成分, 则有:

$$\begin{cases} S_{x,y,c} = S_{x,y} \cdot \varepsilon(S_{x,y}) \\ s. t. \quad \alpha + \beta = 1, \alpha > 0.5, \beta < 0.5 \end{cases} \quad (4)$$

由数字半调原理<sup>[5]</sup>和显示器发光效率<sup>[6]</sup>可知,在抖动时需要根据不同显示器将像素值调整为  $C_{x,y}^\gamma$ , 其中  $\gamma$  值根据显示器不同,取值范围为  $[1.5, 3.0]$  (普通 CRT 显示器  $\gamma = 2.2$ )。经像素值调整后,最终的  $S_{x,y}$  可表示为:

$$\begin{cases} S_{x,y,c} = S_{x,y} \cdot \varepsilon(S_{x,y,c}) \\ s. t. \quad \alpha + \beta = 1, \alpha > 0.5, \beta < 0.5 \end{cases} \quad (5)$$

其中:  $S_{x,y,c} = \left[ \alpha \cdot C_{x,y}^\gamma + \beta \cdot E_{x,y} \cdot d_{x,y} \mid_n \right]^{1/\gamma}$ ,  $S_{x,y,c}$  的下标  $c \in \{R, G, B\}$ , 表示三个基本颜色通道。最终合成图像的各点像素值  $Z_{x,y,c}$  为:

$$Z_{x,y,c} = \lfloor 255 \cdot S_{x,y,c} \rfloor \quad (6)$$

#### 3.2 像素值的取值范围

在进行图像融合时,除了给定融合算法,还必须对有用信息和伪装信息的像素值加以确定,才能确保融合后有用信息的低频特征与伪装抖动信息的高频特征不变,否则有可能使有用信息由低频搬移到高频,从而加大有用信息的辐射发射。表1给出了按式(5)进行有用信息和伪装抖动信息像素值组合的图像融合效果。

表1 有用信息与伪装信息不同状态组合的图像融合效果

状态组合	图像原始状态						图像融合效果 $S_{x,y}$			
	有用信息 ( $C_{x,y}$ )			伪装信息 ( $E_{x,y}$ )			有用信息背景与伪装信息背景重叠处	有用信息字符与伪装信息字符重叠处	有用信息背景与伪装信息背景重叠处	有用信息字符与伪装信息字符重叠处
I	白底黑字	背景	字符	黑底白字	背景	字符	$\alpha^{1/\gamma}$	$\begin{cases} \beta^{1/\gamma} d_{x,y} \mid_n = 1 \\ 0 & d_{x,y} \mid_n = -1 \end{cases}$	0	$\begin{cases} (\alpha + \beta)^{1/\gamma} d_{x,y} \mid_n = 1 \\ (\alpha - \beta)^{1/\gamma} d_{x,y} \mid_n = -1 \end{cases}$
II	白底黑字	1	0	白底黑字	1	0	$\begin{cases} (\alpha + \beta)^{1/\gamma} d_{x,y} \mid_n = 1 \\ (\alpha - \beta)^{1/\gamma} d_{x,y} \mid_n = -1 \end{cases}$	0	$\begin{cases} \beta^{1/\gamma} d_{x,y} \mid_n = 1 \\ 0 & d_{x,y} \mid_n = -1 \end{cases}$	$\alpha^{1/\gamma}$
III	黑底白字	0	1	白底黑字	0	1	$\begin{cases} \beta^{1/\gamma} d_{x,y} \mid_n = 1 \\ 0 & d_{x,y} \mid_n = -1 \end{cases}$	$\alpha^{1/\gamma}$	$\begin{cases} (\alpha + \beta)^{1/\gamma} d_{x,y} \mid_n = 1 \\ (\alpha - \beta)^{1/\gamma} d_{x,y} \mid_n = -1 \end{cases}$	0
IV	黑底白字	0	1	白底黑字	0	1	0	$\begin{cases} (\alpha + \beta)^{1/\gamma} d_{x,y} \mid_n = 1 \\ (\alpha - \beta)^{1/\gamma} d_{x,y} \mid_n = -1 \end{cases}$	$\alpha^{1/\gamma}$	$\begin{cases} \beta^{1/\gamma} d_{x,y} \mid_n = 1 \\ 0 & d_{x,y} \mid_n = -1 \end{cases}$

从图像融合效果看, II、III状态均会导致背景高频发射增加,有用信息低频发射减弱,从而使截获者通过

获取高频背景而获得有用信息(类似于照片中的翻转效果);而 I、IV状态均使得伪装字符抖动,考虑到实际

文档均为白底黑字, 因此图像融合应按 I 状态进行设置。

3.3 字符信息与抖动函数

由于抖动及图像融合与抖动频率、字符大小与像素点的个数密切相关, 因此在选择抖动函数时, 必须依据字符大小和字符的安全带宽加以确定。

表 2 不同大小有用信息字符对应的信号安全带宽

显示模式	占像素点数			视频信号带宽 (MHz)			安全带宽		
	1号	3号	5号	1号	3号	5号	1号	3号	5号
1024×768@75	4	3	2	20	27	40	14	19	28
1280×1024@60	5	4	3	22	27	36	16	19	26

表 2 给出了由显示器分辨率、场频所获得的不同大小字符的信号带宽及安全带宽<sup>[2]</sup>, 表 3 给出了 3 种抖动函数的基波频率。

表 3 不同显示模式对应的抖动函数基波频率

抖动函数	$d_{x,y} _{n=1}$ (MHz)	$d_{x,y} _{n=2}$ (MHz)	$d_{x,y} _{n=3}$ (MHz)
显示模式			
1024×768@75	40	20	13
1280×1024@60	54	27	18

根据前述抖动及图像融合的技术原理, 抖动函数的设定原则为:

原则 1: 伪装信息字符在行扫方向宽度上至少有一个像素点必须抖动;

原则 2: 伪装信息抖动函数基波频率应尽量接近有用信息字符所对应的安全带宽。

通过表 2、3 的对比以及设定原则的判别, 不同大小字符的伪装信息匹配抖动函数如表 4 所示。

表 4 不同大小字符的伪装信息匹配抖动函数

指标	抖动函数/基波频率(MHz)		
	1号	3号	5号
1024×768@75	$d_{x,y} _{n=2}/20$	$d_{x,y} _{n=2}/20$	$d_{x,y} _{n=1}/40$
1280×1024@60	$d_{x,y} _{n=3}/18$	$d_{x,y} _{n=2}/27$	$d_{x,y} _{n=1}/54$

4 仿真分析与验证测试

4.1 仿真分析

图 3~ 图 5 分别给出了显示器在 1024×768@75 模式下, 采用表 4 中 $d_{x,y}|_{n=2}/20$ MHz 抖动函数对 1 号字符图像的仿真处理结果。

(1) 对比图 4(a)、(b) 可以看出, 前者为伪装信息的背景抖动, 后者为伪装信息的字符抖动, 而有用信息除了在与伪装信息字符重叠处抖动外, 其余均未抖动。实际截获时分别截获的是伪装信息的背景和伪装信息的

字符, 两者都体现出“B”字符, 但是考虑到显示习惯, 显然(b)方案更好。

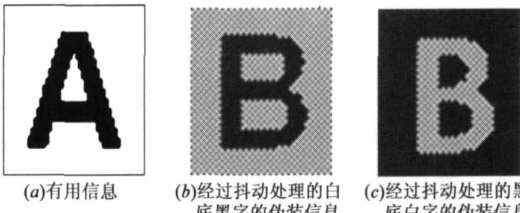


图 3 未进行融合处理的图像

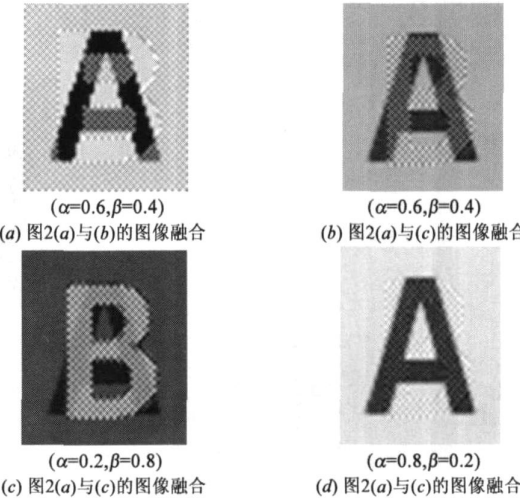


图 4 进行融合处理后的图像

(2) 对比图 4(b)~(d) 可以看出, 对人观察有用信息视觉影响最小的为(d), (c) 效果最差, 因此  $\alpha$  的取值应为  $\alpha \geq 0.6$ 。

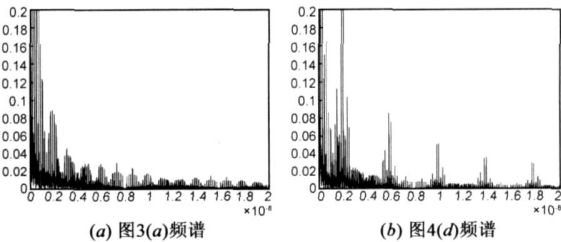


图 5 抖动前后图像的频谱

(3) 对比图 5(a)、(b) 可知, 伪装图像的频谱搬移到了 20M、60M、100M 等高频频率上, 大大增加了截获方在一定截获距离上截获到伪装信息的可能性。若将对有用信息的数字滤波技术<sup>[4]</sup>结合, 可确保降低有用信息频率、增高伪装信息频率, 起到保护有用信息, 迷惑截获方的突出效果。

4.2 截获测试

为了验证分析结果, 我们对实际处理的图像进行了截获测试(图 6), 其中所用的有用信息图像和伪装信息图像均为 1 号字符, 抖动函数与 4.1 仿真分析中所取得完全相同。

从实际截获效果看, 100MHz 时, 在相同截获距离

上,经过对伪装抖动处理并与有用信息图像融合处理后的视频信息,有用信息无法被截获,而伪装抖动信息则可以被截获,并可清晰地显示出来,从而验证了论文中的分析结果.

专用芯片放置在系统或插卡特定功能与 PCI 总线之间,提供传递数据和控制信号的接口电路。这是一种能解决设计难点的有效方

(a) 有用信息图像

A worksheet is created whenever Origin launched, or when File:New:Worksheet selected. Both methods create a worksh

(b) 伪装信息图像

专用芯片放置在系统或插卡特定功能与 PCI 总线之间,提供传递数据和控制信号的接口电路。这是一种能解决设计难点的有效方

(c) 有用信息图像与伪装图像的合成图像

(d) 信息接收机在101.4MHz时某一距离上接收到的图像

A worksheet is created whenever C launched, or when File:New:Works selected. Both methods create a w

(e) 信息接收机在101.4MHz(与图5(d)相同距离)时接收到的图像

图6 实际验证测试结果

## 5 结论

本文从理论上研究了基于抖动及图像融合的防信息泄漏方法,确定了伪装图像的像素值、字符大小与抖动函数的匹配性等关键参数的设置条件,给出了有用信息与伪装信息的图像融合算法,最后通过试验验证了分析结果.

### 参考文献:

- [1] Wim van Eck. Electromagnetic radiation from video display units: An Eavesdropping Risk? [J]. Computers & Security, 1985, 4: 269-286.
- [2] 邱扬,任华胜,田锦. 计算机视频系统的信息电磁泄漏分析[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2002, 29(5): 693-708.
- [3] 邱扬. 计算机 TEMPEST 中的关键技术-屏蔽定量设计方法的研究[J]. 电子计算机外部设备, 1995, (6): 69-74.

- [4] 邱扬,魏丽丽,田锦,陈光达,钱柳宇. 基于数字滤波的计算机视频信息防泄漏研究[J], 电子学报, 2008, 36(6): 1188-1192.
- [5] Robert Ulichney. Digital Halftoning [M]. Cambridge Massachusetts: The MIT Press, 1987. 6-14.
- [6] William K. Pratt. Digital Image Processing [M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 2001. 29-42.

### 作者简介:



邱 扬 男, 1957 年生, 现任西安电子科技大学机电工程学院教授, 电磁兼容性国防科技重点实验室客座教授, 陕西省电磁兼容专业委员会副主任. 发表 40 余篇学术论文, 出版 2 本专著, 获得 3 项省部级科技进步奖. 主要研究方向为移动通信系统电磁兼容设计、信息技术设备的信息安全技术.

E mail: qiyang@vip.sina.com



闫美云 女, 1982 年生, 2005 年毕业于西安电子科技大学测控技术与仪器专业, 现为该校机电工程学院测试计量技术及仪器专业硕士生, 主要研究方向为信号完整性及红黑鉴别.

E mail: yanmeiyun021@yahoo.com.cn.



经 伟 男, 1982 年生, 2005 年毕业于西安电子科技大学自动控制专业, 现为该校机电工程学院测试计量技术及仪器专业硕士生, 主要研究方向为信号完整性及红黑鉴别.

E mail: jingweide@gmail.com



田 锦 女, 1972 年出生, 硕士学位, 现为西安电子科技大学机电工程学院副教授, 为该机电磁场与微波专业博士研究生. 主要研究方向为信息安全、通信系统电磁兼容设计及综合评估技术.

E mail: tj402@126.com