

基于二值图像的信息隐藏研究综述^{*}

周琳娜^{1,2}, 杨义先¹, 郭云彪², 胡 岚²

(1. 北京邮电大学信息安全中心, 北京 100875;

2. 北京电子技术应用研究所, 北京 100091)

摘 要: 二值图像存储简单、结构紧凑的独特优势使得二值图像在数据传真、文字条码识别和数字签名中得到了广泛的应用, 也正是由于这个特点使得彩色、灰度图像的信息隐藏技术不能直接应用于二值图像信息隐藏中。总结概述了近年来二值图像的一些研究成果, 并对这些研究成果的鲁棒性和隐藏容量等问题做了一个简要比较与讨论。

关键词: 信息隐藏; 二值图像; 鲁棒性; 隐藏容量

中图分类号: TN918 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) S2-0071-05

信息隐藏技术作为信息技术的新贵, 越来越引起人们的关注。数字图像作为信息交换的主流媒体, 自然成为信息隐藏的优秀载体。视觉冗余的存在为数字图像提供了相对宽裕的携带信息空间, 因此基于数字图像信息隐藏的研究成为当今信息隐藏技术的主流。二值图像即黑白图像, 其每个像素点只用一位表示, “0”代表黑, “1”代表白。其存储简单、结构紧凑等独特优势使得二值图像在数据传真、文字识别、条码识别和数字签名中得到了广泛的应用, 基于二值图像信息隐藏的研究就有其独特的应用价值。然而, 有关彩色图像、灰度图像的信息隐藏技术层出不穷, 但针对二值图像的信息隐藏算法却并不多见, 这是因为彩色、灰度图像的信息隐藏技术大多采用改变小部分被选择的像素值而不会引起视觉上察觉的方法, 然而这种方法不能直接应用于像素值不是 1 就是 0 的二值图像 (图 1)。本文对近年来二值图像研究的发展做一个整体回顾, 对这些研究成果给二值图像信息隐藏的研究所带来的启迪做一个简要的讨论。

1 二值图像的信息隐藏方法

二值图像只有黑、白两个色调, 对这两个反差极大的色调做直接修改很容易引起视觉异常。二值图像信息隐藏无法照搬彩色图像信息隐藏算法。由于二值图像的信息隐藏很容易引起视觉异常, 因此在信息嵌入时应重点考虑视觉上的隐蔽性 (即视觉的空间屏蔽效应)。目前我们所讨论的文献中, 二



图 1 原始二值图像 (a) 和用彩色、灰度图像隐藏技术进行信息嵌入后的二值图像 (b)

Fig. 1 Visual effect of arbitrarily changing pixel values on a binary image

值图像信息隐藏的方法包括: 大块图像做微小平行移位, 小范围图像做修改, 有条件的进行以空间分辨率换取颜色分辨率。

1.1 分块嵌入的隐藏方法

分块嵌入的二值图像信息隐藏方法是一种较为典型的隐藏方法, 由于其算法简单、隐藏容量大, 相对于其它算法而言具有更强的实用性。这一类嵌入方法就是把图像分成大小为 $M \times N$ 的子块, 然后对划分的子块按某种规则进行计算确定嵌入策略, 根据嵌入策略找出可以修改的像素, 然后直接对该像素进行修改。这种方法对所有的二值图像均适用。

Chen^[1]介绍了一种实用的二值信息隐藏算法, Tseng^[2]又对文献 [1] 的算法进行了改进。其基本思想为: 首先对图像分成 $M \times N$ 子块 F (不妨假设载体图像的长和宽为 M, N 的整数倍), 分块后的子块 F 与嵌入的密钥阵 K (也为 $M(N$ 阵) 求异或 $F \oplus K$, 然后与称重矩阵 W 相乘 $F \oplus K \odot W$, 最后对得出结果阵的所有元素求和 $\text{SUM}(F \oplus K \odot W)$, 修改图

* 收稿日期: 2004-09-11

基金项目: 国家 863 计划资助项目 (2002AA145010); 国家 973 计划资助项目 (TG1999035804)

作者简介: 周琳娜 (1972 年生), 女, 助理研究员; E-mail: wdmzln@263.net

像子块 F 使前面的求和结果与嵌入信息 $b_1 b_2 \cdots b_r$ 相同。

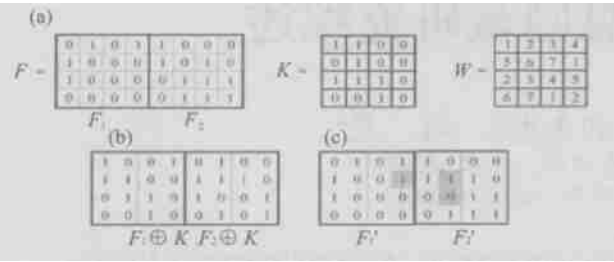


图 2 用图像固定分割的数据隐藏方案

Fig 2 Data hiding scheme using fixed partitioning of images

$$\text{SUM}(F \oplus K \odot W)(\text{mod } 2) = b_1 b_2 \cdots b_r$$

该算法利用相应矩阵运算确定子块嵌入位置，嵌入时直接修改，修改两位可以携带 $\log_2(m \times n)$ 位信息。该方法在分块较小时对图像的视觉会有较大的影响。

文献 [3] 中首先将图像分成 3×3 的块，嵌入策略为尽量小的影响图像块的主观视觉效果前提下，修改块内像素，使块内像素值为“1”的像素数总和的奇偶性与嵌入的数据位相一致。具体做法为，首先计算块内图像的连通性和光滑性，在做修改时尽量不破坏图像的连通性与光滑性。该算法通过置乱来保证像素修改时达到“0”“1”平衡。

文献 [4] 中载体图像被分成 8×8 的子块，用每个子块中黑白像素的多少来表示嵌入的信息，具体的嵌入策略为：根据图像中为“1”的像素所占百分比，设定一个门限，用子块中为“1”像素的百分比超过门限来表示“1”，低于门限则表示“0”。对每个子块按上述嵌入策略进行修改即可完成嵌入。对于一般的二值图像，该算法在嵌入时修改图像内黑白变化比较分明的边界像素，对于半色调图像嵌入时修改那些孤立的像素点，否则大量的像素修改会引起明显的视觉异常。该方法具有一定鲁棒性，但嵌入信息的图像块质量会明显降低。

1.2 游程修改嵌入方法

Matsui 等^[7]提出了一种修改像素游程的信息嵌入方法，该方法主要针对传真文件实施。传真文件每行包含 1728 个像素，这 1728 个像素包含有许多游程，游程数据采用霍夫曼编码记录数据。具体的嵌入策略非常简单，即修改游程边缘的像素，使游程加一或减一，用游程的奇偶性来携带信息。很明显该方法也可以适用于所有的二值图像，只是在短游程较多时会影响图像的视觉效果。

1.3 文字特征修改法

基于文字特征修改的算法根据文字的笔画特征

进行嵌入，具有较好的视觉效果。文献 [6] 提出了这种算法的具体实现方式。第 1 步首先分析字体的笔画连接，然后根据分析结果按笔画分块，再将分得的笔画块分成 4 个部分。第 2 步计算每个笔画的平均宽度，一般用游程来计算。第 3 步将 4 个笔画块分成两组，通过让一组笔画变粗，另一组笔画变细来完成信息嵌入。潜入策略很简单：第一组变粗、第二组变细嵌入“1”，反之则嵌入“0”。信息提取也非常简单，首先计算按嵌入时进行的分块方式分块，比较每个笔画的 4 个子块的粗细是否相同即可完成提取。该方法能够经受二次量化的攻击。

1.4 边界修改法

文献 [5] 提出了一种基于边界的隐藏方法，它首先将字符分成 8 个基本的边界，然后在一对固定边界长度为 5 个像素的边界模式上进行信息嵌入，嵌入策略为删除一个边界像素或添加一个边界像素。这种方式有个独一无二的特性，那就是用于信息嵌入的边界长度为 5 个像素的两个边界模式互为对效应（如图 3 所示），也就是说，只要修改在中间位置的一个模式的像素值将会影响另一模式。这个特性为无需参考原始文本的嵌入信息提取提供了很大便利，不需要应用先验知识就可进行信息的提取。实验结果表明，该方法可以允许在分辨率为 300 dpi 的满篇数字化文档上每个字节（或连接套件）嵌入 5.69 bits 信息。该方法可以应用于如文本文档或工程画图等使用连接套件的普通文档图像。

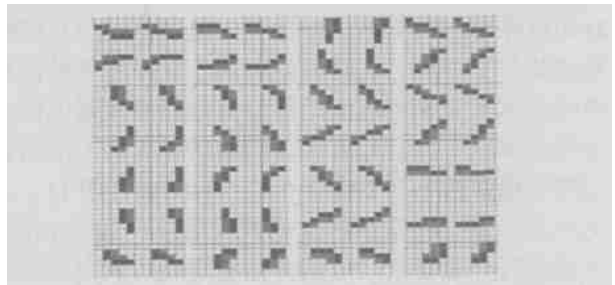


图 3 边界修改法的对效应边界模式举例

Fig 3 Examples of the dual patterns

1.5 基于半色调图像的嵌入算法

半色调技术就是利用单一的颜色（黑色）模仿出百余种连续灰度等级，其技术核心为数字抖动（dither），即用数字空间分辨率链换取亮度幅度分辨率。该技术被广泛地应用在书报刊物的印刷，打印输出等应用领域。由于半色调图像用空间分辨率来表示亮度分辨率，因此可以用直接修改像素的方法进行信息嵌呻。当然针对半色调图像嵌入方法也有一些特殊要求，有些算法需要原始的灰度图像。

文献 [19, 20] 提出了 3 种直接在半色调图像

中进行嵌入的隐藏算法分别为 DHST、DHPT、DHSPT，这 3 种隐藏算法不需要原始灰阶图。DHST 的方法为随机的修改半色调图像的一个孤立的像素使该像素值与要嵌入的数据位相同。DHPT 方法为修改随机选择的一对黑白像素，使之携带嵌入信息。DHSPT 同样是修改一对黑白像素，在修改时同时兼顾修改不会明显降低视觉效果的方法。

文献 [21] 对上述 3 种嵌入方法做了改进。该方法不再随机地选择嵌入位置，而是根据亮度的大小来选择嵌入的位置。该方法一般选择亮度高或亮度低的区域进行信息嵌入，在中间亮度区域不进行信息嵌入。该方法在不降低嵌入容量的前提下改善了嵌入后的视觉效果，但该算法在进行嵌入时需要原图做亮度参照。

在文献 [17] 中，嵌入算法对正常的抖动实现框图（图 4a）做了调整，调整后的框图（图 4b）根据嵌入的信息对抖动方法进行调控，信息在利用抖动技术生成半色调图像的过程中嵌入，毫无疑问，信息嵌入时需要形成半色调图像的灰度原图。

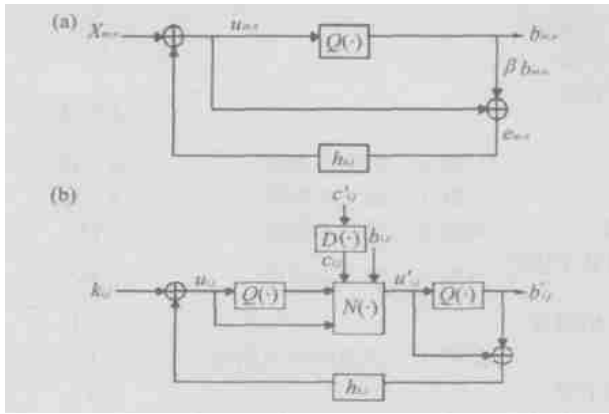


图 4 基于半色调图像嵌入算法实现图

Fig 4 Modifications of halftoning images

(a) 正常抖动实现框图；(b) 调整后的抖动实现框图

文献 [18]、[24] 均是在半色调图像形成的抖动过程中嵌入水印，算法实现方式与文献是 [17] 中提出的算法相同，只不过嵌入策略不同而已。

1.6 文本行移位，文本字符移位法

文本行移位和字符移位的隐藏方法就是将文本图像的一行字符，一个字符或是一个字符群做微小的整体移位来携带信息。这种方法适用于文本内容的二值图像。

Low 发表了一系列文章^[8-13]讨论文本内容的数字水印技术，采用的就是这种字符移位、行移位的方法。该技术通过修改字符间距、行间距来携带信息，修改幅度为 1/150 英寸 (1/381 cm)。嵌入策略非常简单，比如说字符行向上移嵌入“1”，向下移

嵌入“0”；字符行向左移嵌入“1”，向右移嵌入“0”，嵌入的水印可以经的起扫描和打印的攻击，具有一定的鲁棒性。由于水印在打印或扫描时难免会引入量化噪声，水印恢复时用极大似然法来判别。具体实现方法为：在信息嵌入时分为了嵌入行和控制行，控制行的行间距与字符间距保持不变，只对嵌入行的行间距与字符间距进行相应改变。这样检测时控制行的行间距与字符间距就可以作为参考间距，利用嵌入策略即可完成检测。很明显，文本行移位法具有较高的鲁棒性，字符移位法可以嵌入的信息容量较大。

文献 [13] 把行移位法和字符移位法有机地结合起来，Cox 等^[14]利用傅立叶变换将水印信息变换到频域内进行检测。该算法在进行水印检测时需要原始图像，通过在频域内比较原始图像与载体图像的区别，根据区别的大小对原图进行认证与判别。

文献 [15] 介绍的方法是通过改变字符的尺寸来嵌入信息，字符或单词的高度可以略微增加一点，或是宽度略微增加一点不会引起明显的视觉异常。同文本行移位、文本字符移位嵌入方法相比，这种信息嵌入方法具有较高的嵌入容量。实验结果表明文本字符的尺寸改变 1/300 英寸 (1/62 cm)) 就可以可靠地检测，并且能够抵御反复影印的攻击。水印嵌入时，总是修改当前字符或单词的尺寸，被修改字符或单词相邻的单词或字符的尺寸保持不变，这样在水印提取时相邻的单词或字符的尺寸就可以作为参考尺寸。这种水印嵌入方法对字符的倾斜非常敏感，文本页的微小旋转转会影响水印的提取，即使进行倾斜校正也于事无补。因此如何抵御旋转攻击是本方法进一步改进的内容。

文献 [16] 中，调整字符间距是隐藏信息最基本的方法，该方法首先对一个字符行分块，信息嵌入时只在块内按设计的算法来调整字符间距，该方法适合汉语、日语等字符和词之间的间距大小等同的文本信息。实验表明该方法能够抵御文本复印的攻击，但在文本复印质量下降时会影响水印的提取。增加嵌入分块长度可以增强嵌入信息的鲁棒性，但是会牺牲嵌入容量。

综上所述，分块嵌入法，游程修改嵌入法和边界修改法属于小范围图像做修改的嵌入方法，其主要目的是嵌入较多的信息，但抵抗扫描、打印、影印、传真等转换攻击的能力较低或根本经不起这些二次量化引入的噪声的攻击。文本行移位，文本字符移位法属于大块图像做微小平行移位的方法，其主要应用侧重于水印嵌入，其目的旨在保护出版物的版权与重要文件的完整性，应该具有一

定的鲁棒性，必须可以抵抗打印扫描、打印、影印、传真传送等这些二次量化引入的噪声的攻击，自然，这种靠移动文本行与字符来嵌入信息的方法隐藏容量较小。基于半色调图像的抖动嵌入法，由于半色调图像用空间分辨率来表示幅度分辨率，则是用直接修改像素的方法进行信息嵌入，这种技术没有鲁棒性，当然也经受不起扫描、打印、影印、传真等二次量化引入的噪声的攻击。

2 二值图像信息隐藏的特点

在信息隐藏技术中，鲁棒性和嵌入容量是最为重要的两个指标。二值图像信息隐藏技术的鲁棒性指的是技术对抗打印，扫描，传真等转换攻击的能力。对于一般的信息隐藏技术，增强鲁棒性会以牺

性隐藏容量作为代价。表 1 从嵌入方法，鲁棒性，嵌入容量，优缺点和技术限制等角度对比概述了以上文献中描述的各种信息隐藏技术的特点。

从表 1 的对比可以看出，信息隐藏技术的嵌入容量与鲁棒性是一对矛盾，要增强技术的鲁棒性将会使以技术的嵌入容量降低。我们还可以观察到，增强技术鲁棒性的关键是将秘密信息（或水印）嵌入在经过了大量合理统计，覆盖了大部分像素的位置上，而不是嵌入到某个特定的、严格挑选的位置上。比如，鲁棒性较强的文本行移位方法就是将秘密信息（或水印）嵌入在文本像素水平行的质心位置，而鲁棒性较弱的边界修改法则将秘密信息（或水印）嵌入到一些边界像素的特定外形上。

表 1 技术对比
Tah 1 Comparison of techniques

嵌入方法	技术鲁棒性	嵌入容量	技术优(+)缺(-)点	技术限制	参考文献
分块奇偶性嵌入	无	高	(+)能应用于普通二值图像		[3]
分块像素百分比嵌入	低/中	高	(+)能应用于普通二值图像 (-)图像质量可能会降低		[4]
分块逻辑运算嵌入	无	高	(+)每块能嵌入多位比特 (+)运用了密钥阵		[1], [2]
文本行移位	强	低		只限于二值文本图像	[8— 12]
文本字移位	中	低/中		只限于二值文本图像	[8— 12]
字符边界扩展	中	低/中	(-)对文本倾斜敏感	只限于二值文本图像	[15]
调整字符间距	中	低/中	(+)能应用于没有明显字边界的文档	只限于二值文本图像	[16]
边界修改法	无	高	(+)能应用于普通二值图像		[5]
文字特征修改法	中	低/中		只限于文字笔画丰富图像	[6]
游程修改嵌入法	无	高	(-)图像质量可能会下降		[7]
改进的抖动嵌入算法	无	高		只限于半色调图像	[17]
抖动直接嵌入法	无	高		只限于半色调图像	[19— 21]
模拟抖动嵌入法	无	高		只限于半色调图像	[18]

3 讨 论

在本文中，我们回顾和总结了近年来二值图像研究发展过程中的一些研究成果，对已公布的二值图像信息隐藏技术进行了分类和介绍，指出了一些二值图像信息隐藏系统的弱点和局限性，了解这些弱点和攻击方案将有助于我们设计出更好的信息隐藏方案。针对上述二值图像信息隐藏系统的弱点和局限性，我们认为二值图像信息隐藏技术的研究中需要注意三个方面问题：

(1) 二值图像的信息隐藏技术应重点考虑视觉的空间屏蔽效应（即视觉上的隐蔽性）。二值图像的图像内容是由一系列黑白点构成的图案，一位代

表一个像素，在空间幅度上没有多少修改余地，其信息隐藏方法不能照搬当前流行的彩色图像信息隐藏方法（如最低有效位的方法）。

(2) 前面的总结中可以看出，二值图像隐藏技术的嵌入容量与鲁棒性是一对矛盾，很明显，鲁棒性越强嵌入容量越小，鲁棒性越弱嵌入容量越大，增强技术的鲁棒性会以牺牲隐藏容量作为代价。将来的研究目标是在鲁棒性与嵌入容量之间寻求一种平衡，根据应用需求不同对鲁棒性与嵌入容量做不同的侧重。

(3) 随着信息隐藏研究的不断深入，也需进行与之相对抗的信息隐藏分析技术的研究。作为一门新兴的学科，信息隐藏算法的研究和信息隐藏检测

分析算法的研究是相互促进的, 适当研究和恰当提出信息隐藏分析范围内的问题及观点对图像信息隐藏技术各项指标的成熟完善意义深远。

虽然针对二值图像的信息隐藏探索研究还不象彩色图像、灰度图像那样成熟, 近年来国内外不少学者在二值信息隐藏研究方面做了诸多有益的工作, 虽然研究成果有限, 但研究成果的数量与质量呈增长趋势, 在这个重要领域我们希冀有更多、更好的成果出现。

参考文献:

- [1] PAN H K, CHEN Y Y, TSENG Y C. A secure data hiding scheme for two-color images[C]. IEEE Symposium on Computers and Communications, 2000.
- [2] TSENG Y, PAN H K. Secure and invisible data hiding in 2-color images[C]. IEEE Symposium on Computers and Communications, 2000.
- [3] WU M, TANG E, LIU B. Dading in digital binary images[C]. IEEE Int'l Conf on Multimedia and Expo, 2000.
- [4] KOCH E, ZHAO J. Embedding robust labels into images for copyright protection [C]. International Congress on Intellectual Property Rights for Specialized Information, 1995.
- [5] MEI Q, WONG E K, MEMON N. Data hiding in binary text documents[C]. SPIE Proc Security and Watermarking of Multimedia Contents III, 2001.
- [6] AMANO T, MISAKI D. Feature calibration method for watermarking of document images[C]. 5th Int'l Conf on Document Analysis and Recognition, 1999: 91—94.
- [7] MATSUI K, TANAKA K. Video-steganography: how to secretly embed a signature in a picture[J]. IMA Intellectual Property Project, 1994, 1(1): 187—206.
- [8] LOW S H, MAXEMCHUK N F, LAPONE A M. Document identification for copyright protection using centroid detection [J]. IEEE Trans on Comm, 1998, 46(3): 372—83.
- [9] MAXEMCHUK N F, LOW S H. Marking text documents[J]. Proc IEEE Intl Conf On Image Processing, 1997.
- [10] LOW S H, MAXEMCHUK N K. Performance comparison of two text marking methods[J]. IEEE J Selected Areas in Communications, 1998, 16(4).
- [11] LOW S H, MAXEMCHUK N K, BRASSIL J T, et al. Document marking and identification using both line and word shifting[C]. Infocom 95, IEEE Computer Society Press, 1995.
- [12] LOW S H, LAPONE A M, MACEMCHUK N F. Document identification to discourage illicit copying[C]. IEEE Globe Com 1995: 13—17.
- [13] LIU Y, MANT J, WONG E, et al. Marking and detection of text documents using transform-domain techniques[C]. SPIE Conf on Security and Watermarking of Multimedia Contents, 1999: 317—328.
- [14] COX I, KILIAN J, LEIGHTON T, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia[C]. Proc First Int Workshop Information Hiding. ANDERSON R, ed. Cambridge: Springer-Verlag, 1996: 183—206.
- [15] BRASSIL J, O' GORMAN L. Watermarking document images with bounding box expansion [C]. 1st Int'l Workshop on Information Hiding. Cambridge: Springer-Verlag, 1996: 227—235.
- [16] CHOTIKAKAMTHORN N. Document image data hiding techniques using character spacing width sequence coding [C]. IEEE Intl Conf Image Processing, 1999.
- [17] BAHARAV Z, SHAKED D. Watermarking of dither half-toned images[C]. SPIE Security and Watermarking of Multimedia Contents, 1999, 1: 307—313.
- [18] WANG H C A. Data hiding techniques for printed binary images[C]. The International Conference on Information Technology: Coding and Computing, 2001: 2—4.
- [19] FU M S, AU O C. Data hiding for halftone images[C]. SPIE Conf On Security and Watermarking of Multimedia Contents II, 2000, 3971: 228—236.
- [20] FU M S, AU O C. Data hiding by smart pair toggling for halftone images[C]. IEEE Int'l Conf Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2000, 4: 2318—2321.
- [21] FU M S, AU O C. Improved halftone image data hiding with intensity selection[C]. IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2001, 5: 243—246.
- [22] KNOX K T. Digital watermarking using stochastic screen patterns[P]. United States Patent Number, 5734752.
- [23] WANG S G. Digital watermarking using conjugate halftone screens[P]. United States Patent Number, 5790703.
- [24] KATSAVOUNIDIS I, KUO C C J. A multiscale error diffusion technique for digital half-toning[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1997, 6(3): 483—490.

The Overview of Binary Image Information Hiding

ZHOU Lin na^{1,2}, YANG Yi xian¹, GUO Yun biao², HU Lan²

(1. Beijing University of Posts and Telecommunication, Beijing 100876, China;

2. Beijing Application Institute of Electronic Technology, Beijing 100091, China)

Abstract: While a variety of information hiding techniques are proposed for digital color and grayscale images, not all of them can be directly applied to binary images. A white-black image is lack of gray or color information to hold secret, arbitrarily changing pixel values on a binary image causes very noticeable artifacts. To present an summary and overview of recent developments on binary image information hiding and discuss some important issues of those techniques such as robustness and data hiding capacity.

Key words: information hiding, binary image, robustness, hiding capacity