

一种实用的遥感影像二维信息隐藏盲算法

关泽群¹ 王贤敏¹ 孙家¹

(1 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘要: 提出了一种实用的二维信息隐藏盲算法, 以实现遥感影像中机密信息的隐藏。

关键词: 遥感影像; 信息隐藏; 奇偶嵌入法; JPEG 标准量化表

中图分类号: TP309.2; P237.3

信息隐藏是利用人类感觉器官对数字信号的感觉冗余, 将一个消息(称为待隐消息或秘密消息)隐藏在另一个消息(称为遮掩消息或载体)中^[1~3]。本文将信息隐藏的涵义拓展, 即不再是将两个毫不相关信息中的一者隐藏在另一者中, 而是将信息 A 中的部分信息 B 作为秘密信息隐藏于信息 A 中。该信息隐藏算法既要考虑机密信息 B 的不可见性和鲁棒性, 还要考虑载体信息 A 在嵌入机密信息和经受攻击后的损坏程度和使用价值, 而不像一般的信息隐藏算法那样, 在提取机密信息后, 即将载体信息抛弃。

遥感影像具有数据量庞大和价格昂贵等特点, 并且有些信息也许只希望部分授权用户可以看到, 如军事基地, 这时就要将遥感影像中的机密信息隐藏起来, 并且不影响隐藏了机密信息后的遥感影像的使用价值。

鉴于上述考虑, 本文提出了一种自适应于遥感影像特征的机密信息隐藏盲算法。该算法借鉴信息隐藏^[4~11]的思想, 将遥感影像中的机密信息分割提取后, 对遥感影像中提取机密信息后的空白影像块进行灰度补值, 从而导致机密信息不存在, 但其余地物地貌特征都没有变化的伪遥感影像, 然后再利用奇偶嵌入法将机密信息以视觉不可见的方式嵌入到伪遥感影像中。因为机密信息是遥感影像块, 数据量较大, 并且为了不影响遥感影像的各种应用, 本算法选择在伪遥感影像上进行灰度补值的影像块的空间域上内嵌机密信息, 从而生成隐藏了机密信息的伪遥感影像。该

算法在提取机密信息和恢复遥感影像原貌时, 不需要原始遥感影像, 是一种盲算法。实验结果表明, 该算法具有机密信息隐藏效果好, 信息隐藏量大且对常见的影像处理(如 JPEG 有损压缩、附加噪声、影像缩放、裁剪等)鲁棒性好等优点。此外, 该算法对隐藏了机密信息的伪遥感影像的各种应用几乎没有任何影响, 是一种实用的遥感影像机密信息隐藏算法。

1 遥感影像机密信息隐藏算法

算法的基本框图如图 1 所示。该算法引入了一系列增强算法性能的机制, 包括采用扩频通讯技术以及用密钥产生的混沌二值序列对机密二进制序列进行调制, 以达到对机密信息进一步加密的目的, 从而增强了信息隐藏系统的透明性和鲁棒性。

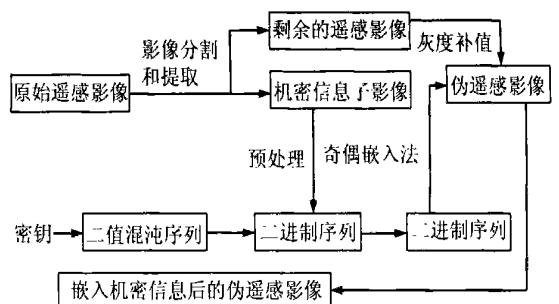


图 1 遥感影像机密信息隐藏算法框图

Fig. 1 Frame of Algorithm for Secret Information Hiding in Remote Sensing Image

1.1 机密信息提取和伪遥感影像生成

首先在原始遥感影像 A 上识别出待隐藏的机密信息, 无论机密信息是什么形状的地物, 均可用其最小外接矩形来选定该机密地物, 并将该包含机密地物的最小外接矩形从遥感影像中分割和提取出来, 这种分割出来的包含机密地物的矩形影像块为机密影像块 W 。然后对分割后的遥感影像中的空白矩形块进行灰度补值以生成伪遥感影像 B 。灰度补值的最终目的就是恢复没有机密地物时的原始地貌, 即对非授权用户形成一种视觉欺骗, 让其觉得灰度补值区域的纹理特性以及地物地貌的过渡都和周边的纹理、地貌十分吻合, 过渡十分自然, 从而无法察觉曾有机密地物存在。例如山顶上有一个军事基地, 现在要将军事基地隐藏起来, 就要将影像上包含军事基地的最小外接矩形影像块提取出来, 然后对提取后的遥感影像进行灰度补值, 从而恢复没有建设军事基地时山顶的原貌。因此, 灰度补值的效果对机密信息隐藏的鲁棒性是十分重要的。在灰度补值时, 必须对遥感影像上机密影像块 W 所在的周边地物类型、地物边界以及纹理特征都进行仔细的分析, 并以此为依据逼真地恢复没有机密地物时的原始地貌和纹理特征。

1.2 机密影像块预处理

1.2.1 机密影像块压缩

机密影像块 W 数据量很大, 将影像块直接嵌入伪遥感影像 B 中是不现实的, 因此, 必须对机密影像块进行一定的压缩, 以减少嵌入的数据量。在充分考虑图像的压缩率和图像恢复的容错能力的基础上, 该算法采用 DCT 技术^[10] 来对机密影像块进行压缩比为 8 : 1 的压缩, 具体压缩算法如下。

1) 首先将机密影像块 W 中的每个像素值减去 128, 然后再将其分成互不覆盖的 8×8 块, 记为 $W_m = f_m(x, y)$, 即

$$W = \bigcup_{m=0}^{M-1} f_m(x, y), 0 \leq x, y \leq 7 \quad (1)$$

2) 对 W_m 进行 DCT, 得:

$$W'_m = F(u, v) = \text{DCT}\{f_m(x, y), 0 \leq x, y \leq 7\}, \\ m = 0, 1, 2, \dots, M-1 \quad (2)$$

3) 利用 JPEG 量化表对 W'_m 中的 DCT 系数进行量化和调整, 得:

$$W''_m = \text{round}(F(u, v) / Q(u, v)), \\ 0 \leq u, v \leq 7; m = 0, 1, 2, \dots, M-1 \quad (3)$$

式中, $\text{round}(\cdot)$ 为取整函数; $Q(\cdot)$ 为 JPEG 量化表中的量化系数。

4) 按压缩比 8 : 1 取出 W''_m 中的前 8 个系数,

记为 W_m''' , 则

$$W^* = \bigcup_{m=0}^{M-1} W_m''' \quad (4)$$

从而得到压缩比为 8 : 1 的压缩机密影像块 W^* 。

1.2.2 机密信号生成

经过上述处理后, 压缩影像块 W^* 中包含了机密影像块 W 的绝大部分信息。为了增加机密信息的安全性和增强信息隐藏系统的鲁棒性, 还必须对压缩机密影像块 W^* 进一步加密。

1) 将机密影像块 W^* 转换成二进制码。 W^* 中的每一个数用 8bit 二进制码表示, 即可得到只包含 0、1 数字的机密信息序列 Q , 再将 Q 中的 0 替换为 -1。

2) 利用密钥 key 生成一个由 $\{-1, 1\}$ 构成的且长度和机密序列 Q 相同的二值混沌序列 P , 然后将机密信息序列 Q 的每个元素都用二值混沌序列 P 进行调制以加密, 从而得到最终的机密信号 Q^* , 其中 $Q_i^* = Q_i \cdot P_i$ 。最后再将 Q^* 中的 -1 替换为 0。

1.3 机密信息嵌入^[12-13]

由于机密影像块数据量大, 且为了不影响嵌入机密信息后的伪遥感影像的各种应用, 所以本文选择在伪遥感影像 B 中的对应于机密影像块位置处的灰度补值影像块 I 的空间域上内嵌机密信号。设 $I(i, j)$ 为灰度补值影像块 I 中的某一像素的灰度值, (i, j) 为其坐标, 嵌入算法如下:

$$I'(i, j) = (\text{round}(I(i, j) / q(i, j)) + \eta) * q(i, j) \quad (5)$$

式中, $\eta =$

$$\begin{cases} 0, & \text{若 } \text{mod}(\text{round}\left(\frac{I(i, j)}{q(i, j)}, 2\right), 2) = Q^*k \\ \text{sgn}\left(\frac{I(i, j)}{q(i, j)} - \text{round}\left(\frac{I(i, j)}{q(i, j)}\right)\right), & \text{否则} \end{cases} \quad (6)$$

式中, Q^*_k 是位置 (i, j) 处嵌入的比特值; $\text{sgn}(\cdot)$ $\in \{-1, +1\}$ 是正负号函数; $q(i, j)$ 是位置 (i, j) 处的量化步长, 本文选择标准 JPEG 量化表中品质因子为 50% 时的量化值作为量化步长 q , 以增强算法的鲁棒性。依上述步骤对影像块 I 中的每一像素值进行处理, 即可得到隐藏了机密信息的伪遥感影像 C 。

2 机密信息提取和遥感影像复原

2.1 机密影像块提取

机密信息提取是机密信息内嵌的逆步骤, 且在机密信息提取时不需要原始遥感影像, 是一种盲信息隐藏算法。其中 key 以及机密影像块 W

在原始遥感影像 A 中的位置(左上角坐标)和大小可作为密钥,用于机密信息的提取。

设经过传输和各种影像处理攻击后的含有机密信息的伪遥感影像为 C^* ,则机密信号提取算法如下。

1) 利用密钥信息,即机密影像块 W 在原始遥感影像 A 中的位置和大小,从伪遥感影像中分割和提取出内嵌机密信息的影像块 I^* ,对 I^* 中的每一像素 $I^*(i, j)$ 按下述步骤进行处理。

2) 与机密信息内嵌策略相似,首先利用品质因子为 50% 的标准 JPEG 量化表,对 I^* 中的每一像素 $I^*(i, j)$ 进行量化,如果 $I^*(i, j)$ 的量化值为偶数,则 $I^*(i, j)$ 中隐藏了一位机密信号“0”;如果 $I^*(i, j)$ 的量化值为奇数,则 $I^*(i, j)$ 中隐藏了一位机密信号“1”。按照此方法进行检测,即可从影像块 I^* 中提取出整个机密信号 $Q^\#$,然后再将 $Q^\#$ 中的“0”替换为“-1”。

3) 利用密钥 key 生成与内嵌机密信号时相同的二值混沌序列 P ,对提取出的机密信号 $Q^\#$ 进行解调,即可恢复出机密信号 Q' ,即 $Q'_i = Q_i^\# \cdot P_i$ 。

4) 按照机密信号生成的逆过程,由机密信号 Q' 恢复机密影像块 W' 。

除了通过恢复的机密影像块 W' 来判别恢复出的机密信息正确与否,也可用通过验证检测出的机密信号 Q^\wedge 与原始机密信号 Q 之间的相关性来验证提取出的机密信息正确与否。

可以用相似函数来测试提取出的机密信号 Q^\wedge 和原始机密信号 Q 之间的相似性:

$$\text{sim}(Q^\wedge, Q) = \frac{\sum_{n=1}^{Q_L} Q(n) \cdot Q^\wedge(n)}{\sqrt{\sum_{n=1}^{Q_L} Q^\wedge(n)^2}} \quad (7)$$

如果 $\text{sim}(Q, Q^\wedge) > T^*$,则说明被测试的伪遥感影像中存在机密信息;否则,不含机密信息。由式(7)计算出,当 $T^* = 6$ 时,判断机密信号存在的错检率小于 10^{-8} ,所以在算法中 T^* 取 6 为阈值。

2.2 遥感影像复原

利用密钥信息,即机密影像块 W 在原始遥感影像 A 中的位置和大小,在伪遥感影像 C^* 中,将影像块 I^* 的灰度值替换成恢复出的机密影像块 W' 的灰度值,即将影像块 I^* 用恢复的机密影像块 W' 来替换,即可得到复原的遥感影像 D 。

3 模拟实验

本文使用上海地区 SPOT5 影像中的一块影

像(351×353)作为测试遥感影像(图 2(a)),并选择该影像中的椭圆形建筑物作为待隐藏的机密信息,如图 2(b)所示。对椭圆形建筑物作其最小外接矩形,然后将该机密影像块分割、提取出来。机密影像块的大小为 $50 \times 43 \times 8 = 17\ 200\text{bit}$,因此,该机密影像块相对于嵌入区域的大小 50×43 而言,其数据量是很大的,本文将机密影像块进行压缩比为 8:1 的压缩。此外,在对分割机密信息后的遥感影像进行灰度补值时,由于椭圆形建筑物四周的纹理特征比较复杂,有道路、建筑物和空地,因此在灰度补值时,必须将那些在机密影像块分割时,被分割去部分纹理特征的建筑物和道路的形状、纹理特征补齐。因为要恢复没有建设椭圆形机密建筑物时的原始地貌,而椭圆形建筑物旁边是空地,所以本文选择空地特征来替换椭圆形建筑物,以生成伪遥感影像 B ,如图 2(c)、2(d)所示。内嵌机密信息后的伪遥感影像 C 如图 2(e)所示,其中 PSNR = 55.3643dB, PSNR 值和主观视觉效果都证实了该算法实现了机密信息的透明性和大数据量嵌入。无影像处理攻击时,提取出的机密影像块和复原的遥感影像如图 2(f)、2(g)所示。就嵌入区域大小而言,嵌入的信息隐藏量较大,因此,在对机密影像块压缩时,导致了机密影像块的部分纹理信息的丧失。原始遥感影像和复原的遥感影像之间的差异增强后如图 2(h)所示,可见本文提出的信息隐藏算法具有高逼真度。

对于信息隐藏算法,信息隐藏量和不可见性是最重要的,而对鲁棒性的要求并不高。本文对嵌入机密信息的伪遥感影像 C 进行了一系列影像处理实验以测试该算法的鲁棒性,其中图 3 是标准 JPEG 有损压缩攻击下提取机密信号的检测响应曲线图,可见该算法具有较好的抵抗 JPEG 压缩的特性。图 4(a)~图 4(g)分别是将隐藏机密信息的伪遥感影像添加 0 均值的高斯噪声、椒盐噪声、放大 2 倍、缩小 2 倍、中心裁剪以及品质因子为 82.4% 的 JPEG 有损压缩等常见影像处理后提取出的机密影像块。表 1 为相应攻击实验下,机密信号检测响应测试数据和提取的机密影像块的 PSNR 值。

由实验结果可以看出,当 JPEG 压缩品质因子高于 50% 时,机密影像块均能较精确地提取出来;且经过裁剪、比例尺缩小等影像处理后,即使在含机密信息的伪遥感影像的质量已经有很大的失真,且 PSNR 值较低的情况下,机密信号仍能生存,具有较强的鲁棒性。

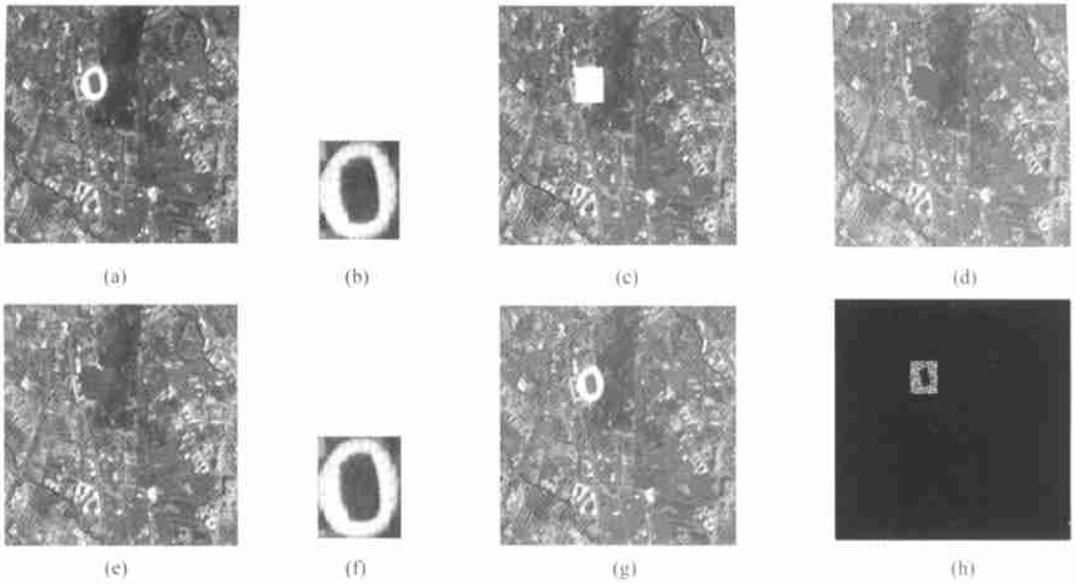


图 2 遥感影像与机密影像块

Fig. 2 Remote Sensing Images and Secret Sub-images

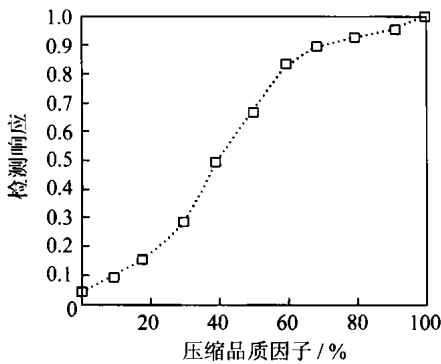


图 3 JPEG 有损压缩的检测响应曲线图

Fig. 3 Curve of the Detector Response to JPEG Lossy Compression Ratio

表 1 在不同攻击下提取机密信号的检测响应以及提取的机密影像块的 PSNR 值

Tab. 1 Detector Responses of Extracted Secret Signals and PSNR Values of Secret Sub-image After Various Attacks

攻击类型	检测响应	PSNR 值
无攻击	1	42.037 4
高斯噪声 (0 均值, 方差为 0.002)	0.714 0	24.533 5
椒盐噪声	0.988 1	39.001 5
放大 2 倍	0.990 6	39.578 6
缩小 2 倍	0.610 5	12.644 4
中心裁剪(10%)	0.625 3	30.389 9
中值滤波(3×3)	0.702 5	29.542 3

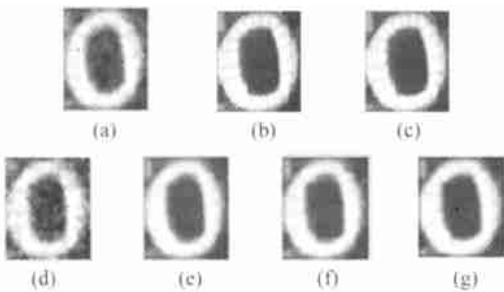


图 4 各种攻击下提取的机密影像块

Fig. 4 Extracted Sub-images Under Various Attacks

对原始遥感影像、隐藏机密信息的伪遥感影像和复原的遥感影像分别进行边缘提取(使用canny 算子)和影像分类的应用实验,结果如图 5 和图 6 所示。

从实验结果可看出,本文提出的遥感影像二维信息隐藏盲算法对遥感影像的边缘检测和分类

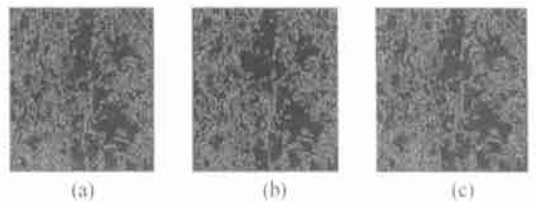


图 5 边缘检测结果

Fig. 5 Results of Edge Detection

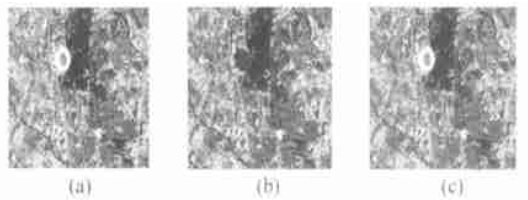


图 6 影像分类结果

Fig. 6 Results of Image Classification

等各种应用均没有影响,是一种适用于遥感影像的实用机密信息隐藏算法。

4 结 语

本文提出了一个遥感影像的二维信息隐藏盲算法。该算法首先对遥感影像中的机密信息进行分割和提取,然后对遥感影像中提取机密信息后的空白影像块进行灰度补值,制造抹去机密信息后的伪遥感影像;再借鉴信息隐藏的思想,利用奇偶嵌入法(odd-even embedding)将机密影像块压缩后以不可见的方式嵌入到伪遥感影像中,并且在嵌入过程中使用标准 JPEG 量化表来定义量化步长,从而进一步增强算法的鲁棒性,生成了隐藏机密信息的伪遥感影像;另外,该算法在提取机密信息和恢复遥感影像时,不需要原始遥感影像,是一种盲算法。攻击测试和实验结果表明,该算法具有透明性、稳健性,信息隐藏量大,机密信号检测结果准确,算法复杂度低,对各种常见的影像处理技术都具有较强的鲁棒性。此外,该信息隐藏算法对遥感影像的各种应用,如边缘检测和影像分类等均没有影响,易于推广使用。

本算法在以下方面还有待进一步完善。

1) 由于嵌入的机密信息隐藏量相对嵌入区域而言是很大的,因此在对机密影像块压缩时,导致了机密影像块的部分纹理信息的丧失,可考虑更为合适的无损压缩算法;

2) 本文算法对于影像裁剪、比例尺缩小等影像处理的抵抗性还有待增强。

参 考 文 献

- 周瑞辉, 荆继武. 信息安全的新兴领域. 计算机应用研究, 2001, 6(7): 6~8
- Bender W, Gruhl D, Morimoto N, et al. Techniques for Data Hiding. IBM System Journal, 1996, 35(3/4): 313~335
- 丁 玮, 闫伟齐, 齐东旭. 基于置乱与融合的数字图像隐藏技术及其应用. 中国图像图形学报, 2000, 5(8): 644~649
- Cai W T, Turner S J, Gan B P. An Architecture for Information Hiding. IEEE Trans. on Image Processing, 2001, 11(4): 67~74
- Yu H H, Yin P. Multimedia Data Recovery Using Information Hiding. IEEE Trans. on Image Processing, 2000, 6(4): 1344~1348
- Lee H W. Public Key Traitor Tracing for Digital Copyright Protection. IEEE Trans. on Image Processing, 2001, 7(9): 1357~1362
- Cox I J, Killian J, Leighton F T, et al. Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia. IEEE Trans. on Image Processing, 1997, 6(12): 1673~1687
- Xia X. A Multi Resolution Watermark for Digital Images. 4th IEEE Int. Conf. Image Processing' 97, Santa Barbara, 1997
- 王 沛, 余松煜. 图像高逼真度的盲水印算法. 中国图像图形学报, 2002, 10(5): 448~453
- 易开祥, 石教英. 自适应二维数字水印系统. 中国图像图形学报, 2001, 6A(5): 444~449
- 王贤敏, 关泽群, 吴沉寒. 小波变换用于基于图像内容的自适应数字水印算法. 计算机工程与应用, 2003, 39(35): 13~16
- Wu M, Liu B. Data Hiding in Image and Video: Part I—Fundamental Issues and Solutions. IEEE Trans. on Image Processing, 2003, 12(6): 685~694
- Wu M, Yu H, Liu B. Data Hiding in Image and Video: Designs and Applications. IEEE Trans. on Image Processing, 2003, 12(6): 696~704

第一作者简介: 关泽群, 教授, 博士生导师。主要从事遥感、图像分析和地理信息系统的教学和科研工作。在国内外刊物和会议上共发表论文 40 余篇, 参与撰写著作 2 部, 《商空间下的遥感图像分析理论探讨》已入选中国首届优秀博士论文。

E-mail: zequn@public.wh.hb.cn

A Practical Blind Algorithm for Two-Dimensional Secrete Information Hiding in Remote Sensing Image

GUAN Zequn¹ WANG Xianmin¹ SUN Jiabing¹

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University,
129 Luoyu Road Wuhan 430079, China)

Abstract: In order to hide secrete information in remote sensing image, this paper proposes a practical blind algorithm. Firstly, we segmente and extract the secrete information in remote sensing image, then make gray value supplement in the area in which the secrete information has been extracted, and produce the disguised remote sensing image in which the secrete information

is wiped off. Then we use for reference the idea of information hiding and utilize the algorithm of odd-even embedding to embed the secrete sub-image imperceptibly into the disguised remote sensing image to produce the disguised one in which there hides secrete sub-image. In addition, during the course of extracting secrete information and resuming the remote sensing image, this algorithm does not need the original remote sensing image and is a blind one. Experimental results show that this algorithm is not only quite transparent and has a good effect on large amount of secrete information hiding, but also has a strong robustness against such familiar image processes as JPEG lossy compression, noise adding, scaling and cropping. Furthermore, this algorithm has no influence on various applications of the disguised remote sensing image with the hidden secrete information.

Key words: remote sensing image; information hiding; odd-even embedding; JPEG standard quantization table

About the first author: GUAN Zequn, professor, Ph. D supervisor. His major research orientations are remote sensing image analysis and geographic information system. He has published more than 40 papers and professional works.

E mail: zequng@public.wh.hb.cn

(责任编辑: 涓涓)

下期主要内容预告

- ▶ 地球重力场、重力、重力梯度在三维直角坐标系中的表达式
- ▶ 平面相似变换之模型可靠性研究
- ▶ 等高线拓扑关系的构建以及应用
- ▶ 基于正交变换的多通道遥感影像变化检测
- ▶ 多尺度耕地供需动态平衡预警体系研究
- ▶ 一种动态参考站 RTK 模糊度解算方法
- ▶ 模糊直方图及其在测量数据处理中的应用
- ▶ 重力场 Dirichlet 问题解的随机 Poisson 积分表示
- ▶ 由星载 GPS 确定低轨卫星初始状态解的误差分析
- ▶ 基于栅格数据的面状目标空间方向相似性研究
- ▶ 适用于 H.264 的高性能快速运动估计算法