

文章编号: 1007-4619(2005)05-0576-07

# 基于遥感影像融合的不同权限信息隐藏盲算法

王贤敏<sup>1,2</sup>, 关泽群<sup>1</sup>, 吴沉寒<sup>1</sup>

(1. 武汉大学 遥感信息工程学院, 武汉 430079; 2. 华中科技大学 水电与数字化工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘 要:** 提出了一种基于遥感影像融合的不同权限机密信息隐藏盲算法, 算法利用奇偶嵌入法和 JPEG 量化表, 根据用户的不同权限进行融合影像中机密信息不同程度的隐藏, 且在提取机密信息和恢复原始融合影像时, 不需要原始遥感影像, 是一种盲算法。实验结果表明: 算法具有强的透明性, 大的信息隐藏量, 并对各种常见的影像处理具有较强的鲁棒性。此外, 算法对不同程度隐藏机密信息的遥感影像的各种应用均没有影响。

**关键词:** 影像融合; 信息隐藏; 用户权限; 奇偶嵌入法; JPEG 标准量化表

**中图分类号:** TP391.4/TP309.2 **文献标识码:** A

## 1 引 言

影像融合是把多传感器、多分辨率影像结合起来的处理过程, 是解决多源海量数据富集表示的有效途径之一<sup>[1]</sup>。在信息丰富的融合影像中, 有些信息可以对任何用户开放, 而有些机密信息也许只希望让授权用户能够清晰地看到, 部分授权用户只能大概模糊地看到, 非授权用户完全看不到。例如影像中的军事基地, 对于军方而言, 该机密信息应该完全清晰的显示在影像上; 而对于与军方相关的部门, 也许并不希望该军事基地被这些部门十分清晰地看到, 而只是让他们大概模糊地知道这里有个军事基地; 对于一般的用户, 也许根本不希望这些用户知晓军事基地的存在, 而目前国内外主要是致力于信息完全隐藏的研究<sup>[2-4]</sup>, 而对于不同权限机密信息隐藏的研究文献却罕见报道。

因此本文提出了一个信息隐藏盲算法, 该算法利用奇偶嵌入法和 JPEG 量化表, 实现根据用户的权限, 不同程度地隐藏遥感融合影像中的机密信息, 并对遥感影像的各种应用没有任何影响。算法将信息隐藏的涵义予以拓广, 即不再是将两个毫不相干的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 作为秘密信息隐藏起来且隐藏于信

息 A 中。所以本文的信息隐藏算法既要考虑机密信息 B 的不可见性和鲁棒性, 还必须考虑载体信息 A 在嵌入机密信息和经受攻击后的损坏程度和使用价值, 而不能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。

## 2 基于影像融合的信息隐藏算法

算法将影像融合和信息隐藏技术相结合, 对于机密信息不同程度的隐藏, 我们采用不同的算法思路。

### 2.1 对于一般的用户 (即完全隐藏机密信息)

首先将来自不同传感器和不同分辨率的遥感影像进行融合; 然后在融合影像中, 对机密信息进行分解、分析和综合; 接着对融合影像中提取机密信息后的空白影像块进行像素值补值, 从而制造出抹去机密信息后的伪融合影像; 然后将机密信息以不可见的方式嵌入伪融合影像中, 从而生成完全隐藏机密信息的伪融合影像。这样普通用户见到的就是抹去机密信息后的伪融合影像, 他并不知道其中隐藏着机密信息。

### 2.2 对于具有部分权限的用户 (即部分程度地隐藏机密信息)

在影像融合和机密信息分解、分析和综合后, 对

收稿日期: 2004-04-06; 修订日期: 2004-09-03

**基金项目:** 国家“973”重点基础研究发展计划: 流域水沙及环境变化特征信息监测反馈 (2003CB415205); 国家“973”重大基础研究前期专项: 流域水电梯级开发对生态环境的时空影响基础研究 (2004CCA2500)

**作者简介:** 王贤敏 (1978—), 女, 博士生。研究方向为: 遥感影像处理、数字水印和信息隐藏技术。现已发表和录用论文 10 余篇。

E-mail wangxn10291@sina.com.

提取出的机密信息进行高斯低通滤波,从而使机密信息变得模糊;然后再将模糊处理后的机密信息重新赋回融合影像中,并在融合影像中模糊机密影像块和临近影像块的接合处进行像素值补值,从而实现周边纹理和地物地貌的自然过渡,达到只是让机密影像块变得模糊,而其周围地物仍相对清晰的效果,从而生成部分程度隐藏机密信息的伪融合影像;由于对于融合影像而言(例如高空间分辨率影像和多光谱影像的融合),它的空间分辨率和原来的高分辨率影像相比,有所降低,从而对赋入的模糊机密信息有一种视觉保护效果;接着将机密信息以不可见的方式嵌入到伪融合影像中,即生成隐藏了机密信息的伪融合影像。从而拥有部分权限的用户看到的只是拥有模糊机密信息的伪融合影像,而并不知道其中隐藏了清晰的机密影像。

### 2.3 对于拥有完全权限的用户(即不隐藏机密信息)

他们可以通过 3 种方式看到机密信息:

(1) 直接将来自不同传感器的融合影像给这些用户;

(2) 利用密钥,从完全隐藏了机密信息的伪融合影像中盲提取出机密信息,并恢复融合影像原貌;

(3) 利用密钥,从部分程度隐藏机密信息的伪融合影像中盲提取出清晰的机密信息,并恢复融合影像原貌。

## 3 信息隐藏算法的具体实现技术

### 3.1 影像融合算法

本文采用将小波变换与高通滤波相结合的影像融合算法:将多光谱影像变换到 IHS 空间;将高分辨率影像根据多光谱影像的 I 分量进行直方图匹配,以减少光谱畸变;对高分辨率影像进行小波分解以及高通滤波,以提取高分辨率影像的高频和细节部分,然后加入多光谱影像的 I 分量中,再进行 IHS 逆变换,即可得到融合影像。

### 3.2 机密信息的分解、分析和综合

将融合影像进行分层或者分类,如分为点、线、面三层;或者分为建筑物、河流、绿地等各类,然后根据要隐藏的机密信息的空间性质和光谱特性,在相应的层或者地物类别中分析出机密信息;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,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,我们称分割出来的包含机密地物的矩形影像块为机密影像块 W。

### 3.3 像素值补值和伪融合影像生成

像素值补值的最终目的就是恢复没有机密地物时的原始地貌,即对非授权用户和部分授权用户形成一种视觉欺骗,让他们觉得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或者机密地物经过模糊处理。因此像素值补值的效果对机密信息隐藏的鲁棒性十分重要。在补值时,必须对遥感影像上机密影像块所在的周边地物类型,地物的边界以及纹理特征进行仔细的分析,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。由于是将高分辨率影像和多光谱影像进行融合,所以融合出的影像往往是彩色影像,所以像素值补值时,需对融合影像的 RGB 分量分别进行补值,再将 RGB 分量的补值结果结合起来,即可得到抹去机密信息后的彩色伪融合影像 C。

### 3.4 机密信息嵌入算法

算法引入了一系列增强算法性能的机制,包括扩频通讯技术以及用密钥产生的混沌二值序列调制机密信息以达到对机密信息进一步加密以增强信息隐藏系统的透明性和鲁棒性。

算法首先采用 DCT 技术对彩色机密影像块 W 的 RGB 分量分别进行压缩比为 8:1 的压缩,以减少嵌入数据量。压缩算法见文献 [5];然后将压缩得到的 RGB 三分量综合,即得到压缩机密影像块  $W^*$ 。接着用密钥 key 生成的  $\{-1, 1\}$  二值混沌序列 P 对压缩机密影像块  $W^*$  的 8bit 二进制序列进行扩频调制加密。

算法将彩色机密影像块嵌入彩色融合影像中的思路是:将彩色机密影像块的 RGB 三分量分别不可见地嵌入到伪融合影像的 RGB 三分量中。而对于 RGB 中每一分量的嵌入则采用奇偶嵌入法和 JPEG 标准量化表 [6]。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融合影像的各种应用,算法选择在伪融合影像中补值影像块的空间域上内嵌机密信息。

设  $I_m(i, j)$  为像素值补值影像块 I 的 m 分量中  $(i, j)$  处像素的灰度值,  $m = R, G, B$ ; 嵌入算法如下:

$$I'_m(i, j) = (\text{round}(I_m(i, j) / q(i, j)) + \eta) * q(i, j); \quad (1)$$

其中

$$\eta = \begin{cases} 0 & \text{if } \text{mod}(\text{round}(I_m(i,j)/q(i,j)), 2) = Q_{mk}^* \\ \text{sgn}(I_m(i,j)/q(i,j) - \text{round}(I_m(i,j)/q(i,j))) & \text{otherwise} \end{cases}$$

其中  $Q_{mk}^*$  是  $m$  分量中位置  $(i, j)$  处嵌入的比特值,  $\text{sgn}() \in \{-1, +1\}$  是正负号函数,  $q(i, j)$  是位置  $(i, j)$  处的量化步长, 我们选择标准 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。依上述步骤即可得到隐藏了机密信息的伪融合影像  $C^*$ 。

### 3.5 机密信息提取和融合影像复原

算法根据内嵌的反过程, 对隐藏了机密信息的伪融合影像的 RGB 三分量分别提取对应的机密影像块的 RGB 三分量; 然后利用密钥信息, 将隐藏机密信息的伪融合影像中的像素值补值影像块用恢复的机密影像块  $W'$  来替换, 即可得到复原的融合影像  $C'$ 。算法在机密信息提取时不需要原始遥感影像, 是盲信息隐藏算法。其中密钥  $key$  和机密影像块在原始融合影像中的位置 (左上角坐标) 和大小可作为密钥, 用于机密信息的提取。除了可通过恢复的机密影像块  $W'$  来判别恢复出的机密信息的正确与否, 也可通过检测提取出的机密信号  $Q_m'$  与原始机密信号  $Q_m$  之间相似性  $NC$  函数值来验证。取  $NC = \min\{NC(Q_m', Q_m), m = R, G, B\}$  作为衡量相似度准则。在算法中我们取阈值  $T^* = 0.5$ 。

## 4 模拟实验

本文采用云南地区的 SPOT 影像 ( $600 \times 555$ ) 和 Landsat 7 TM 3, 4, 5 波段组合影像作为测试遥感影像进行影像融合, 在影像融合之前必须对两幅影像进行几何配准和灰度重采样。融合后的影像如

$$\text{if } \text{mod}(\text{round}(I_m(i,j)/q(i,j)), 2) = Q_{mk}^* \quad (2)$$

otherwise

图 1(c) 所示。融合前后 TM 3, 4, 5 波段的统计特性: 熵、联合熵、平均梯度和偏差指数的比较如表 1。

表 1 融合前后 TM 3, 4, 5 影像的统计特性比较

Table 1 The Statistic Characteristic Comparison of TM 3, 4, 5 Composite before and after Image Fusion

	融合前			融合后		
	TM 3	TM 4	TM 5	TM 3	TM 4	TM 5
熵	4.29	5.04	5.12	5.74	5.58	5.91
联合熵	13.28			15.29		
平均梯度	3.46	2.54	3.12	8.39	6.57	8.93
偏差指数 /%				6.86		

将目视判读和检验统计参数结合起来, 可见融合后的影像既保持了 TM 3, 4, 5 的亮度和反差, 并保持色调不变, 而且同时提高了影像的几何分辨率。然后本文使用融合影像中的一块影像 ( $200 \times 200$ ) 进行信息隐藏实验, 并选择其中的四边形建筑物 ( $21 \times 21 \times 24 = 10584 \text{bit}$ ) 作为待隐藏的机密信息。完全隐藏和部分隐藏机密信息情况下生成的伪融合影像, 内嵌机密信息后的伪融合影像以及提取出的机密影像块和复原的融合影像分别如图 2(c) - (f) 和图 3(a) - (e) 所示, 其 PSNR 值分别为:  $PSNR = 48.1244 \text{dB}$  和  $PSNR = 48.0781 \text{dB}$ 。此外, 在对提取机密信息后的融合影像进行像素值补值时, 注意到四边形建筑物四周的纹理特征和地物类型比较复杂, 有道路、绿地、农田和空地, 因此在分割和提取机密地物后, 必须将被分割去部分纹理特征的道路、绿地、农田和空地的纹理特征与几何形状补齐, 从而恢复其原始地貌。

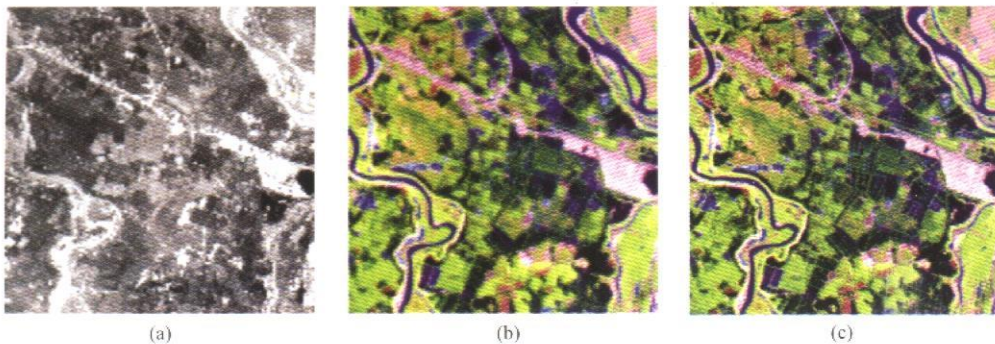


图 1 影像融合结果

Fig 1 Results of image fusion

(a) SPOT image; (b) TM image; (c) Fused image

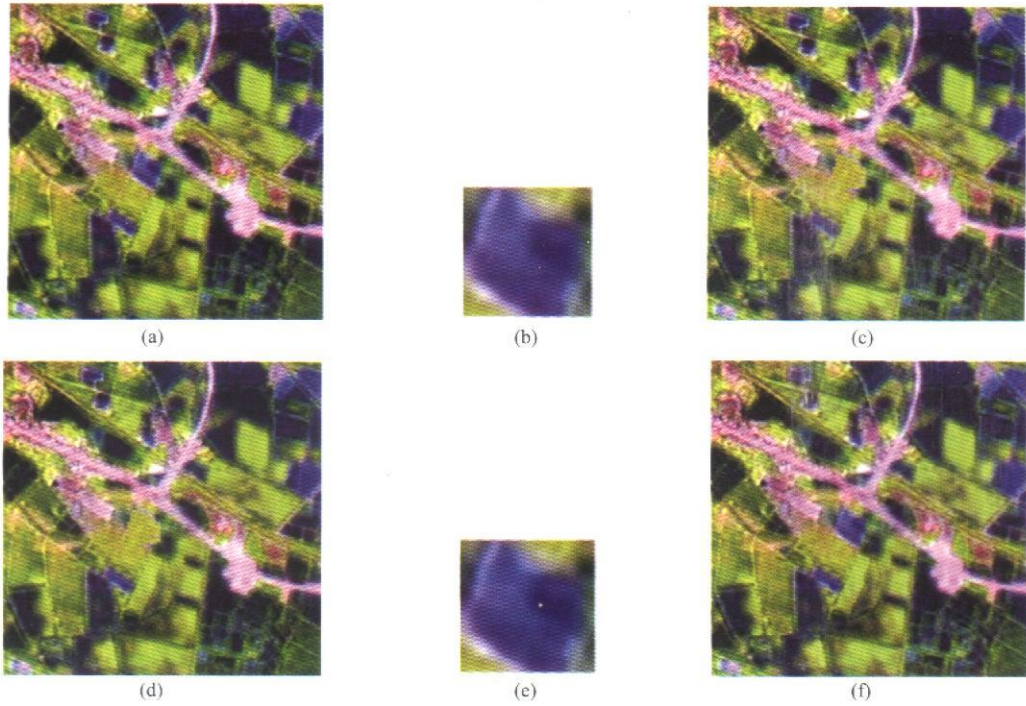


图 2 完全隐藏机密信息时的融合影像和机密影像块

(a) 融合影像(200 × 200);(b) 机密影像块;(c) 补值后的伪融合影像;(d) 隐藏了机密信息的伪融合影像;  
(e) 提取的机密影像块;(f) 复原的融合影像

Fig. 2 Fused image and secrete sub-image when completely hiding secrete information

(a) Fused image(200 × 200);(b) Secrete sub-image;(c) Disguised fused image;(d) Disguised fused image with secrete;  
(e) Extracted secrete sub-image;(f) Resumed fused image

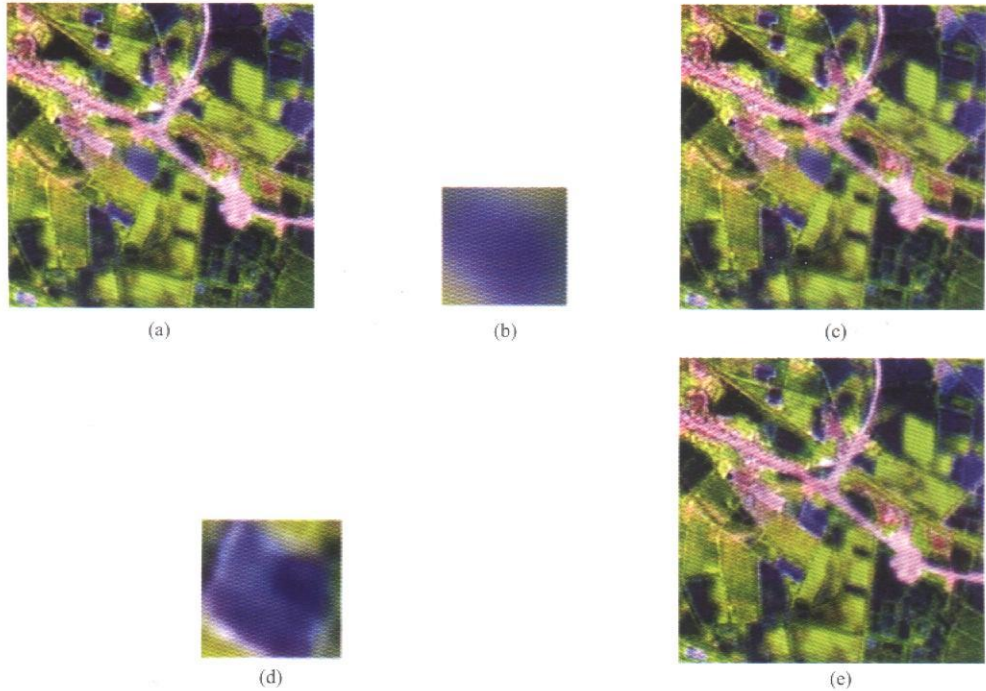


图 3 部分隐藏机密信息时的融合影像和机密影像块

(a) 伪融合影像;(b) 低通滤波的机密影像块;(c) 隐藏了机密信息的伪融合影像;(d) 提取的机密影像块;(e) 复原的融合影像

Fig. 3 Fused image and secrete sub-image when partly hiding secrete information

(a) Disguised fused image;(b) Secrete after low filtering;(c) Disguised fused image with secrete;(d) Extracted secrete;(e) Resumed fused image

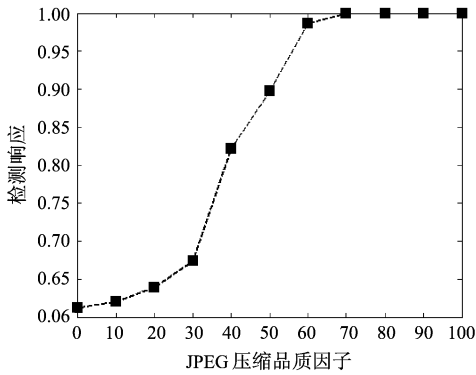


图 4 JPEG 有损压缩的检测响应曲线图

Fig 4 Plot of the detector response corresponding to JPEG lossy compression ratio

我们进行了一系列攻击实验以测试该算法的鲁棒性。其中图 4 是 JPEG 有损压缩攻击下提取机密信号的检测响应曲线图。图 5(a)–(h) 分别是添加 0 均值的高斯噪声, 添加椒盐噪声, 放大 2 倍, 缩小 2 倍, 进行中心裁剪, 中值滤波, 旋转以及品质因子为 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 2 为相应攻击实验下, 机密信号检测响应测试数据和复原的融合影像的 PSNR 值。

由实验结果可以看出, 当 JPEG 压缩品质因子高于 42% 时, 机密影像块均能较精确的提取出来;

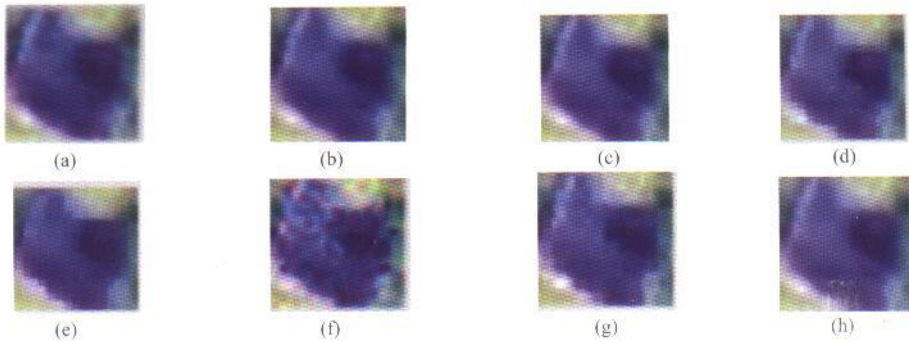


图 5 各种影像处理攻击下提取的机密影像块

(a) 添加 0 均值高斯噪声; (b) 添加胡椒与盐噪声; (c) 放大 2 倍; (d) 缩小两倍; (e) 中心裁剪; (f) 旋转 3°; (g) 中值滤波; (h) JPEG 有损压缩, 品质因子: 82.4%

Fig 5 Extracted secreta sub-images under various image processing

(a) Gaussian noise; (b) Salt & pepper noise; (c) Scale up 2 times; (d) Scale down 2 times(mean value 0, variation 0.002); (e) Center cropping; (f) Rotation 3°; (g) Mean value filtering; (h) JPEG compression at quality 82.4%

从实验结果可看出, 几幅影像的边缘检测和影像分类结果仅仅在遥感影像的像素值补值区域略有区别, 而在遥感影像的其它影像块和区域都没有任何差异。而像素值补值区域是伪造的区域, 且对于一幅遥感影像而言, 是非常小的, 因此像素值补值区

表 2 在不同攻击下提取机密信号的检测响应以及 PSNR 值  
Table 2 Detector responses of extracted secreta signals and PSNR values of resumed fusion images after various attacks

攻击类型	检测响应	PSNR 值 (RGB 分量中的最大值)
无攻击	1	48.1244
高斯噪声 (均值 0, 方差 0.002)	0.6977	30.3344
椒盐噪声	0.9903	39.6065
放大两倍	0.9951	47.8963
缩小两倍	0.6707	23.5160
中心裁剪 (10%)	0.7923	20.2909
中值滤波 (3×3)	0.7729	30.5542
旋转 3°	0.6081	19.7911

且经过旋转和裁剪等影像处理后, 即使含机密信息的伪融合影像的质量已经有很大的失真, PSNR 值较低的情况下, 机密信号仍能生存, 具有较强的鲁棒性。

我们对原始融合影像, 完全隐藏机密信息的伪融合影像, 部分隐藏机密信息的伪融合影像和复原的融合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 6(a)–(d) 和图 7(a)–(d) 所示。

域上遥感影像的任何应用的差异均可以忽略。虽然论文仅对遥感影像最常用的两类应用——边缘检测和影像分类进行了实验, 然而可以推断, 论文提出的信息隐藏算法对遥感影像的任何应用都不会有影响, 是一种适用于遥感影像的实用机密信息隐藏算法。

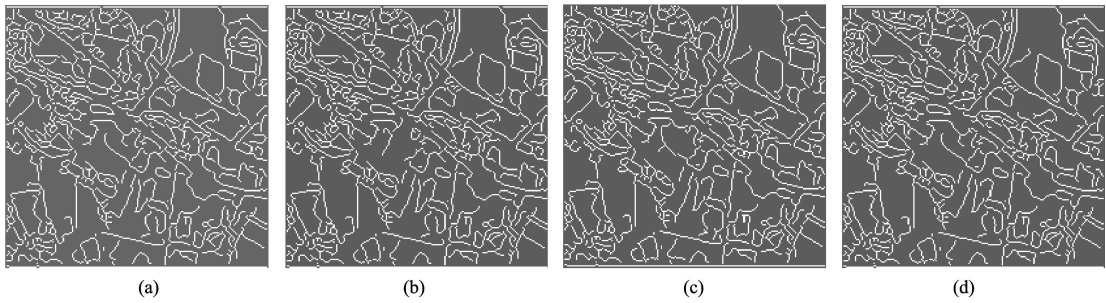


图 6 边缘检测结果

(a)原始融合影像; (b)完全隐藏机密信息; (c)部分隐藏机密信息; (d)复原的融合影像

Fig 6 Results of edge detection

(a) Original fused image; (b) Completely hiding secret; (c) Partly hiding secret; (d) Resumed one

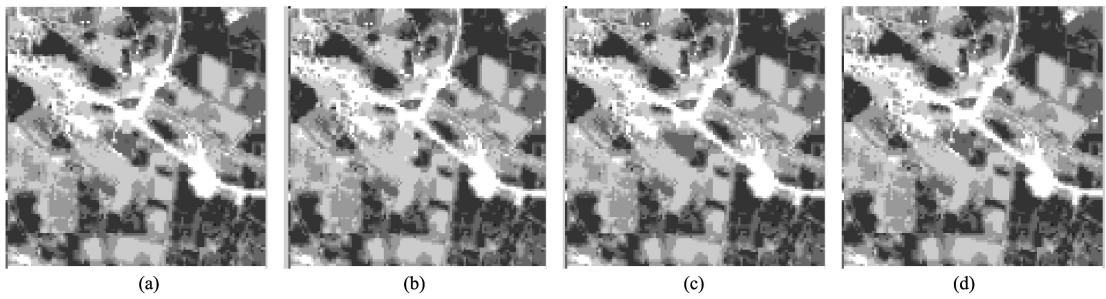


图 7 影像分类结果

(a)原始融合影像; (b)完全隐藏机密信息; (c)部分隐藏机密信息; (d)复原的融合影像

Fig 7 Results of image classification

(a) Original fused image; (b) Completely hiding secret; (c) Partly hiding secret; (d) Resumed one

## 5 结 论

本文提出了一个基于遥感影像融合的不同权限机密信息隐藏盲算法,算法利用奇偶嵌入法(Odd-even embedding)和 JPEG 标准量化表,根据用户的权限,不同程度地隐藏遥感影像中的机密信息,且在提取机密信息和恢复融合影像原貌时,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,该算法具有较好的透明性,强壮性,信息隐藏量大以及机密信号检测结果准确,算法复杂度低等优点,对各种常见的影像处理技术具有较强的鲁棒性。此外,该信息隐藏算法对隐藏了机密信息的伪融合影像的各种应用均没有影响,是一个易于推向遥感影像实用的不同权限机密信息隐藏算法。并且,目前国内外对信息隐藏的研究均局限于选择二进制、二值图像或者灰度图像作为隐藏信息<sup>[2-5,7]</sup>,而本文使用彩色融合影像块作为待隐藏的机密信息,并将其嵌入彩色融合影像中,因此该算法的研究和

应用将具有普遍意义。

此外,本算法还有 2 点有待进一步完善:

(1)由于嵌入的机密信息隐藏量相对于嵌入区域大小而言是很大的,因此在对机密影像块压缩时,可能导致机密影像块的细微纹理的丧失。因此可考虑更为合适的无损压缩算法;

(2)算法对于影像旋转、裁剪等影像处理的抵抗性还有待增强。

## 参 考 文 献 (References)

- [1] Wang Z J, Li D R, Li Q Q. Image Fusion with Wavelets Analysis[J]. Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, 2000, 25(2): 137-142 [王智均,李德仁,李清泉. 利用小波变换对影像进行融合的研究[J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(2): 137-142.]
- [2] Cox I J, Killian J, Leighton F T, et al. Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia[J]. IEEE Trans Image Processing, 1997, 6(12): 1673-1687.

- [ 4 ] Cai W T, Tumer Stephen J, Gan Boon Ping. An Architecture for Information Hiding[ J]. IEEE Trans Image Processing, 2001, 11(4): 67- 74.
- [ 5 ] Wang X M, Guan Z Q, Wu C H. An Adaptive Blind Algorithm for 2-Dimension Secrete Information Hiding Based on Feature of Remote Sensing Image [ J]. Computer Engineering and Application, 2004, 40(19): 17- 20. [王贤敏, 关泽群, 吴沉寒. 基于遥感影像特征的自适应二维信息隐藏盲算法 [ J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(19): 17- 20.]
- [ 6 ] Wu M, Yu Heather, Liu Bede. Data Hiding in Image and Video: Part II- Designs and Applications[ J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12(6): 696- 704.
- [ 7 ] Shen Y Z, Liu F, Ji J B, et al. A Newly Watermarking Algorithm with Gray-level Image[ J]. Computer Engineering and Application, 2004, 40(4): 56- 57. [沈永增, 刘锋, 计建炳等. 一种新的灰度水印嵌入算法 [ J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(4): 56- 57.]

## Information Authorized Hiding Algorithm for Remote Sensing Image Based on Image Fusion

WANG Xian-m<sup>1,2</sup>, GUAN Ze-qun<sup>1</sup>, WU Chen-han<sup>1</sup>

(1. School of Remote Sensing Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China;

2. College of Hydropower and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract** Remote sensing image fusion is an effective means to realize abundant presentation of enormous image data from various origins. However in the fused remote sensing image, there may be some secrete information such as military bases that can't be opened to all users. Just those authorized users can completely and distinctly obtain the secrete information; partly-authorized users can only faintly see those secrete; but the unauthorized users can't see it. In this paper, we proposed a blind algorithm for secrete information hiding based on remote sensing image fusion and it can achieve hiding to different degrees the secrete information in the fused remote sensing image according to different popedoms of different users. Firstly, we fused the remote sensing images from various origins, chose segmented and extracted the secrete information in the fused image and according to different users' popedoms produced the disguised fused images by filtering and pixel complementation in which there presented the secrete information to different degrees. Then we used for reference the idea of information hiding and utilized the algorithm of odd-even embedding and JPEG standard quantization table to embed the secrete sub-image imperceptibly into the disguised fused image to produce the disguised one in which there hid secrete sub-image. While embedding, we exploited JPEG standard quantization table to define the quantization step which further enhanced the robustness of the algorithm against the attack of JPEG lossy compression. In addition, during the course of extracting the secrete information and resumming the fused image, this algorithm didn't need the original remote sensing images and was a blind one. And experimental results show that this algorithm is not only quite transparent and has a good effect for large amount of secrete information hiding, but also has a strong robustness against such familiar image processes as JPEG lossy compression, noise adding, scaling, filtering, rotation and cropping. Furthermore, this algorithm has no influence on various applications of the disguised fused images with the hidden secrete information to different degrees, such as edge detection and image classification.

**Key words** image fusion; information hiding; popedoms of users; odd-even embedding; JPEG standard quantization table