

# 一种红外点目标图像高保真压缩方法

张玉山<sup>1</sup>, 李旭<sup>2</sup>, 颜露新<sup>2</sup>, 陈立群<sup>2</sup>, 魏文龙<sup>1</sup>

(1. 上海卫星工程研究所, 上海 201109; 2. 华中科技大学 自动化学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**针对红外点目标图像的特点,融合目标检测与无损-近无损压缩技术,提出了一种目标-背景分类的高保真压缩方法。将红外图像分成若干子块,对每个子块进行基于“最大中值滤波”背景抑制算法的点目标检测,根据检测结果将图像子块分为包含疑似目标的目标子块和不含目标的背景子块,对目标子块图像无损压缩,对背景图像子块近无损压缩,从而提高红外遥感图像压缩比,降低数据传输量,减轻数据传输压力。实验结果表明:所提的方法与传统全图无损压缩方法相比,能在不损失点目标信息的高保真压缩前提下,使图像压缩比提高40%以上。该方法对星上实时处理系统、红外探测跟踪系统的设计具有一定的理论和工程应用价值。

**关键词:**红外图像; 点目标检测; 最大中值滤波; 图像压缩; 高保真; 卫星遥感

中图分类号: TP751; V443 文献标志码: A

DOI: 10.19328/j.cnki.1006-1630.2018.05.005

## High-Fidelity Compression Method for Infrared Point Target Images

ZHANG Yushan<sup>1</sup>, LI Xu<sup>2</sup>, YAN Luxin<sup>2</sup>, CHEN Liqun<sup>2</sup>, WEI Wenlong<sup>1</sup>

(1. Shanghai Institution of Satellite Engineering, Shanghai 201109, China;

2. College of Automation, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, Hubei, China)

**Abstract:** Combining the algorithm of point target detection and lossless or near-lossless image compression, as well as considering the character of the infrared point target images, a method of high-fidelity compression which compresses the target and background image patches separately is proposed in this paper. This method can reduce the transmitted data and relieve the contradiction between the limited bandwidth and the increased data without losing the information of infrared point target. This method partitions the infrared point target image into small patches, and detects the potential target point by using the maximum median filtering background suppression method. Then according to the detection result, the patch which contains the potential target is compressed in lossless mode, while the patch of background is compressed in near-lossless mode. Therefore it can achieve the high-fidelity compression. The experimental results show that compared to the traditional compression method, the proposed high-fidelity compression method can improve the compression ratio up to 40%. This method has important theoretical and practical value for the design of satellite-borne real-time processing system as well as infrared detection system.

**Keywords:** infrared image; point target detection; maximum median filter; image compression; high-fidelity; satellite remote sensing

## 0 引言

随着空间对地观测技术的高速发展,红外遥感图像的时间、空间、光谱分辨率不断提高,卫星信道带宽有限和数据传输量增大之间的矛盾日益突出。通过对红外遥感图像压缩处理,降低数据传输量,减

轻数据传输压力,是缓解这一矛盾的有效途径。图像压缩算法一般分为无损压缩和有损压缩。无损压缩后,压缩图像与原始图像完全相同,没有任何信息损失;有损压缩后,图像像素灰度值发生变化,且信息损失不可控,可能会丢失图像中的重要遥感信息,

不利于数据的后续应用。对于点目标遥感图像,为确保目标信息的完整、准确,一般采用无损方式进行压缩处理<sup>[1-2]</sup>。

红外遥感图像的目标检测和提取是红外探测跟踪系统的核心技术<sup>[3-4]</sup>,如何在包含复杂背景和噪声的大幅图像中准确检测并提取目标,是目前国内外图像处理中的研究热点<sup>[5-6]</sup>。使用星上目标检测技术和数据压缩技术能大幅减小数据量,减轻数传压力,确保系统信息处理的时效性。

图像压缩和目标检测是 2 种目的不同、相互独立的处理方法。本文在研究红外点目标的基础上,针对性地提出了一种融合目标检测技术和无损-近无损压缩技术的目标-背景分类高保真图像压缩方法。通过预检测目标所在位置,在图像中检测出疑似目标点,并结合 JPEG-LS 常规编码模式<sup>[7]</sup>,引入图像分块压缩方法,对疑似目标点所在的子块进行无损压缩,对不包含疑似目标点的子块进行近无损压缩,从而在不损失目标信息的前提下,提高压缩比,降低下传数据率,减轻数据传输压力<sup>[8-9]</sup>。

## 1 目标-背景分类压缩方法

### 1.1 问题的提出

压缩比是图像压缩性能最重要的衡量指标,其值越大越好。对于红外点目标图像,无损压缩方法压缩比不高,而有损压缩方法易损失甚至丢失目标信息。JPEG-2000 图像压缩标准是常用压缩方法,具有无损、有损 2 种压缩模式,有损模式具有“高压缩比、低比特速率”优势<sup>[10-11]</sup>。在压缩比相当的情况下,JPEG-2000 的重建峰值信噪比( $R_{PSN}$ )高于 JPEG 标准<sup>[12]</sup>,因此常用于有损压缩。直接使用 JPEG-2000 有损压缩会导致红外点目标信息丢失。本文选取的遥感红外测试图像如图 1 所示。图中的图像幅面大小为  $512 \times 512$  像素,位宽为 12 bit,图像采用 JPEG-LS 无损压缩,其压缩比约为 1.85。

利用 JPEG-2000 压缩标准对图 1 中的图像进行有损压缩,将压缩比设置为 3。压缩前后的目标点灰度值变化情况如图 2 所示。由图可见,JPEG-2000 压缩后的目标像素灰度值下降,即目标信息存在损失,影响后续的目标检测识别处理性能。目前对遥感图像的星上压缩处理均直接采用有损或无损压缩方法。对于红外点目标遥感图像,不宜采用损失点目标信息的有损压缩算法,也不宜单一采用压

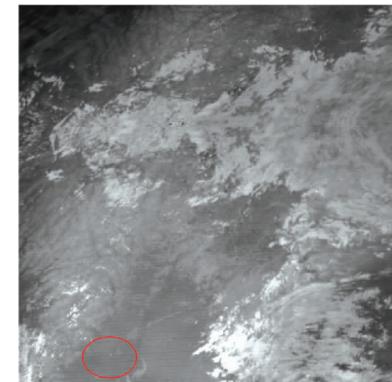


图 1 JPEG-2000 压缩测试图像

Fig. 1 JPEG-2000 compression test image

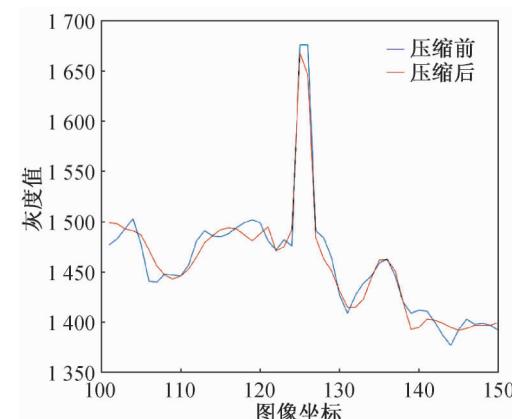


图 2 JPEG-2000 压缩前后目标点灰度值变化

Fig. 2 Change of gray value of target point image by using JPEG-2000 compression algorithm

缩比不高的无损压缩算法。

### 1.2 高保真压缩方法

本文提出的红外点目标图像高保真压缩流程如图 3 所示。由图可见:将图像像素数据输入到模板生成模块,形成去最大中值处理的窗口,经去最大中值滤波处理后,计算出目标检测门限值;根据门限值进行单帧疑似目标点检测,并记录检疑似目标点位置;根据疑似目标点位置,对存在疑似目标点的图像子块进行无损压缩,对不存在疑似目标点的背景子块进行近无损压缩。

#### 1.2.1 去最大中值滤波

去最大中值滤波<sup>[13]</sup>由去中值滤波算法发展而来,是一种非线性空域滤波方法。该算法对邻域中不同方向的子模板进行中值滤波,从中选择最大中值,然后用当前像素减去最大中值,所得的差值为滤

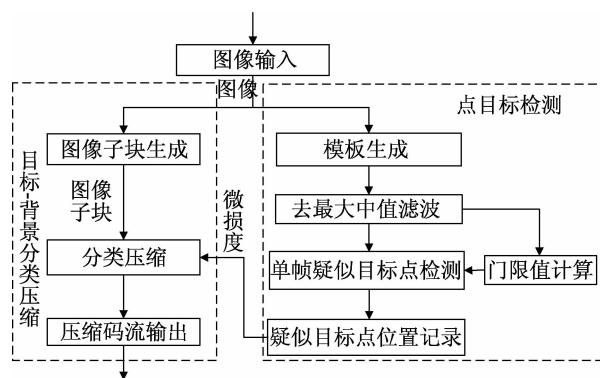


图 3 红外点目标图像高保真压缩流程

Fig. 3 Flowchart of high-fidelity compression of infrared point target image

波结果。去最大中值滤波模板如图 4 所示。图中的模板过中心点对称,4 条对角线为子模板方向。

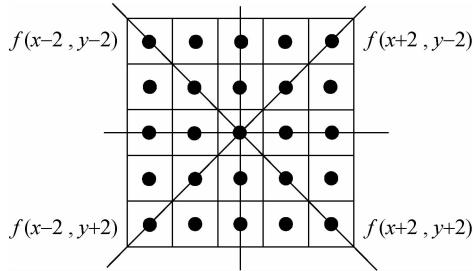


图 4 去最大中值滤波模板

Fig. 4 Maximum median filter template

去最大中值滤波背景抑制过程可表示为

$$g(x, y) = f(x, y) - \max\{\text{med}_1, \text{med}_2, \text{med}_3, \text{med}_4\} \quad (1)$$

式中: $f(x, y)$ 为坐标为 $(x, y)$ 像素点的灰度值;

$$\text{med}_1 = \text{med}\{f(x-2, y), f(x-1, y),$$

$$f(x, y), f(x+1, y), f(x+2, y)\} \quad (2)$$

$$\text{med}_2 = \text{med}\{f(x-2, y-2), f(x-1, y-1),$$

$$f(x, y), f(x+1, y+1), f(x+2, y+2)\} \quad (3)$$

$$\text{med}_3 = \text{med}\{f(x, y-2), f(x, y-1), f(x, y),$$

$$f(x, y+1), f(x, y+2)\} \quad (4)$$

$$\text{med}_4 = \text{med}\{f(x+2, y-2), f(x+1, y-1),$$

$$f(x, y), f(x-1, y+1), f(x-2, y+2)\} \quad (5)$$

### 1.2.2 门限计算及目标判断

根据去最大中值滤波处理后的结果,统计滤波图像的标准差及均值,计算图像分割门限值,即

$$T_h = k\sigma + \mu \quad (6)$$

式中: $T_h$  为门限值; $\mu$  为滤波图像的均值; $\sigma$  为滤波图像的标准差; $k$  为标准差倍数,其值越小说明检测

虚警率越高,对应的目标检测率越高。为获得疑似点目标的检测结果,对图像进行二值化:将大于 $T_h$  的像素设置为 1, 表示该像素为目标点;将小于 $T_h$  的像素设置为 0, 表示该像素为背景点。

### 1.2.3 分类压缩

在 JPEG-LS 常规编码方式下引入子块压缩方法<sup>[14-15]</sup>, 图像分块原理如图 5 所示。图中的分块过程将图像划分为互不重叠的子块  $\text{patch}_i$ , 每个子块独立进行无损(Near=0)或近无损(Near=1, 2, 3)压缩。分类压缩方法对每个图像子块分别进行无损或近无损压缩, 提高了压缩的灵活性和算法的并行性。另外, 以子块为单位的分块压缩, 可将信道传输误码抑制在 1 个压缩子块内, 避免误码在全图内扩散。

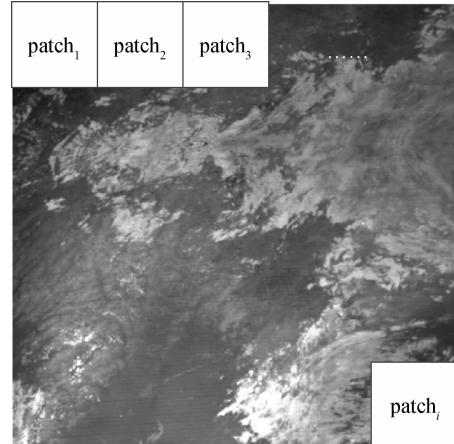


图 5 图像分块示意

Fig. 5 Schematic diagram of image patches

根据目标检测的结果, 对图像子块  $\text{patch}_i$  进行分类压缩。若当前子块  $\text{patch}_i$  含有疑似目标点, 则当前子块判定为疑似目标子块, 其近无损度  $\text{Near}_i$  设置为 0; 若当前子块  $\text{patch}_i$  不含疑似目标点, 则当前子块  $\text{patch}_i$  判定为背景子块, 其近无损度  $\text{Near}_i$  设置为 1, 2, 3。

## 2 实验结果与分析

### 2.1 实验设置

实验采用 8 组仿真测试图像, 每组包括 10 幅图像, 总共 80 幅测试图像。测试图像均利用真实在轨遥感图像特性生成, 包含了不同辐亮度的云背景和目标特性。

对 8 组 12 bit 像素量化、 $512 \times 512$  像素大小的红外点目标图像进行压缩测试, 分别采取 JPEG-LS

无损方法、近无损方法和本文方法进行图像压缩,压缩参数设置见表 1。

表 1 压缩方法参数设置

Tab. 1 Parameter settings of compression methods

压缩方法	子块大小	近无损度(Near)
JPEG-LS 无损方法	16×64 像素	0
JPEG-LS 近无损方法	16×64 像素	3
本文方法	16×64 像素	目标子块为 0;背景子块为 3

本文方法中标准差倍数  $k$  设置为 10。利用本文压缩方法,对 8 组实验数据分别设置不同压缩参数进行测试,验证不同压缩参数对压缩比性能影响,压缩参数设置见表 2。表 2 中“设置 3”与表 1 中“本文方法”参数设置相同;与“设置 3”相比,“设置 1”中子块尺寸减小为 8×32 像素,近无损度参数设置不变;“设置 2”中背景子块近无损度参数减小到 1,子块尺寸不变。

表 2 本文压缩方法参数设置

Tab. 2 Parameter settings of compression method proposed in this paper

压缩参数	子块大小	近无损度(Near)
设置 1	8×32 像素	0(目标子块);3(背景子块)
设置 2	16×64 像素	0(目标子块);1(背景子块)
设置 3	16×64 像素	0(目标子块);3(背景子块)

## 2.2 压缩比性能

采用表 1 中的参数对 8 组图像进行测试,压缩比结果见表 3。由表 3 可见:本文方法的压缩比介于 JPEG-LS 无损和近无损压缩比之间,较 JPEG-LS 无损压缩约提高 43.86%,提升幅度较大。

采用表 2 中参数设置,对 8 组测试图像分别进行不同参数的压缩性能测试,压缩比结果见表 4。由表可知:增加背景子块近无损度 Near 参数可提升图像整体压缩比;子块大小对分类压缩整体压缩比的影响与图像中疑似目标点的空间分布有关,本文选取的 8×32 像素子块和 16×64 像素子块压缩比结果相当。

## 2.3 检测参数对压缩比影响

### 2.3.1 标准差倍数 $k$ 对疑似目标的检测影响

不同标准差倍数  $k$  可检测出的疑似目标点数实

表 3 压缩比结果比对

Tab. 3 Compression ratio results

类型	压缩比			本文方法较无损压缩方法提升百分比/%
	JPEG-LS	近无损压缩方法(Near=3)	本文压缩方法	
无损压缩方法				
1	1.62	2.56	2.17	33.74
2	1.78	2.95	2.50	40.63
3	1.51	2.31	2.07	37.22
4	1.62	2.56	2.31	42.73
5	2.01	3.57	3.41	69.46
6	2.32	3.86	3.22	38.66
7	2.28	4.04	3.12	36.81
8	1.63	2.60	2.49	53.02
均值	1.85	3.06	2.66	43.86

表 4 本文方法不同参数压缩比结果

Tab. 4 Compression ratio results of different parameters for method proposed in this paper

类型	压缩比			
	无损压缩方法	设置 1	设置 2	设置 3
1	1.62	2.26	1.90	2.17
2	1.78	2.50	2.14	2.50
3	1.51	2.15	1.79	2.07
4	1.62	2.34	1.96	2.31
5	2.01	3.15	2.64	3.41
6	2.32	3.20	2.78	3.22
7	2.28	3.20	2.75	3.12
8	1.63	2.41	2.03	2.49
均值	1.85	2.65	2.25	2.66

验结果见表 5。由表可见:本文方法在采用不同的标准差倍数  $k$  可检出的疑似目标点数目不同,随着  $k$  值的增大,检测出的疑似目标点数减少。 $k$  值如果设置过大可能会造成目标点丢失。本组实验中,在全部目标点均可正确检出的前提下, $k$  最大值为 25,此时可检测出的疑似目标点数的平均值为 77 个,对应的单帧过门限率为  $2.94 \times 10^{-4}$ 。

### 2.3.2 标准差倍数 $k$ 对压缩比的影响

采用本文方法对不同  $k$  值下的 8 组测试图像进行压缩比实验,子块大小设置为 16×64 像素、目标子块采用无损压缩、背景子块采用近无损压缩(Near=3),实验结果见表 6。由表可见:本文方法的压缩比随着  $k$  值增大而增大, $k$  为 25 时,压缩比为 2.83,比  $k$  为 2 时的压缩比提升了 23%。

表5 不同检测参数k对应的疑似目标点个数

Tab. 5 Number of detected points corresponding to different detection parameter k

类型	目标点个数							
	$k=2$	$k=4$	$k=6$	$k=8$	$k=10$	$k=15$	$k=20$	$k=25$
1	949	581	414	312	251	163	118	85
2	814	556	439	362	309	235	186	141
3	812	425	249	153	117	61	40	30
4	646	333	213	142	94	50	36	27
5	322	139	86	57	48	31	24	23
6	737	441	318	253	212	173	137	114
7	975	679	537	444	373	272	230	185
8	251	112	59	34	25	16	12	12
平均值	688	408	289	220	179	125	98	77

表6 本文方法不同检测参数k对应的压缩比

Tab. 6 Compression ratios corresponding to different detection parameter k of method proposed in this paper

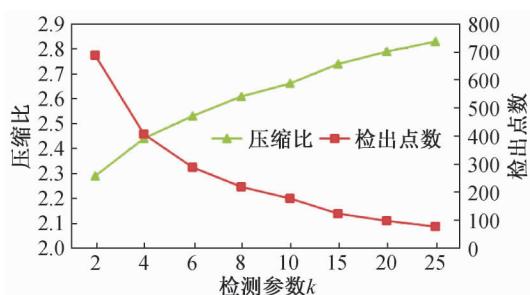
类型	压缩比							
	$k=2$	$k=4$	$k=6$	$k=8$	$k=10$	$k=15$	$k=20$	$k=25$
1	1.88	1.99	2.05	2.12	2.17	2.26	2.33	2.38
2	2.28	2.43	2.46	2.48	2.50	2.57	2.60	2.64
3	1.71	1.79	1.92	2.01	2.07	2.17	2.22	2.24
4	1.95	2.09	2.16	2.25	2.31	2.41	2.44	2.48
5	2.85	3.14	3.26	3.38	3.41	3.50	3.55	3.55
6	2.70	2.85	3.03	3.14	3.22	3.26	3.37	3.39
7	2.81	2.91	2.98	3.04	3.12	3.21	3.29	3.40
8	2.15	2.29	2.41	2.46	2.49	2.53	2.54	2.54
平均值	2.29	2.44	2.53	2.61	2.66	2.74	2.79	2.83

### 2.3.3 小结

检测参数  $k$  与检出点数及压缩比的关系如图 6 所示。由图可知,随着  $k$  值的增大,目标检测门限值增大,检出的疑似目标点数减少,无损目标子块个数减少,近无损背景子块个数增加,压缩比提升。当  $k=10$  时,测试图像平均可检出 179 个疑似目标点,平均压缩比为 2.66。

### 2.4 目标信息保真性能

为验证本文方法的点目标保真能力,对近无损压缩(Near=3)和本文方法的压缩重建误差进行了对比测试分析。近无损压缩保真性能分析结果如图 7 所示。由图可见:采用近无损压缩的重建图像与原图相比在全图范围都存在误差,且全图重建误差在(-3,3)范围内呈近似均匀分布;原图中红色方框表示 8 个实际目标点,它们所在子块压缩前后灰度

图6 检测参数  $k$  与检测点数及压缩比关系曲线Fig. 6 Relationship among detection parameter  $k$ , number of detected points and compression ratio

值一致像素数仅占目标子块像素总数的 12.9%,即压缩前后目标信息存在明显丢失。

采用本文方法压缩保真性能分析实验结果如图 8 所示。由图可见:经去最大中值滤波处理后,实际目标点全部被检测出,并检测到若干疑似目标点。

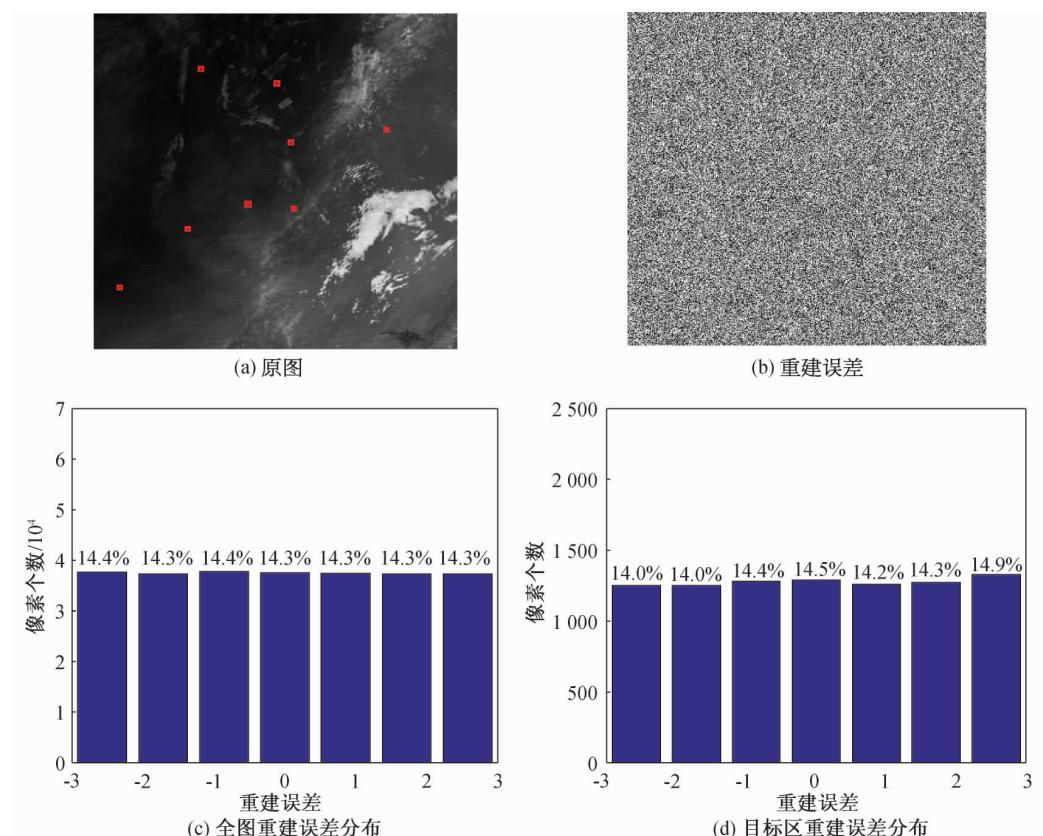


图7 近无损压缩(Near=3)保真性能

Fig. 7 Fidelity performance of near-lossless compression (Near=3)

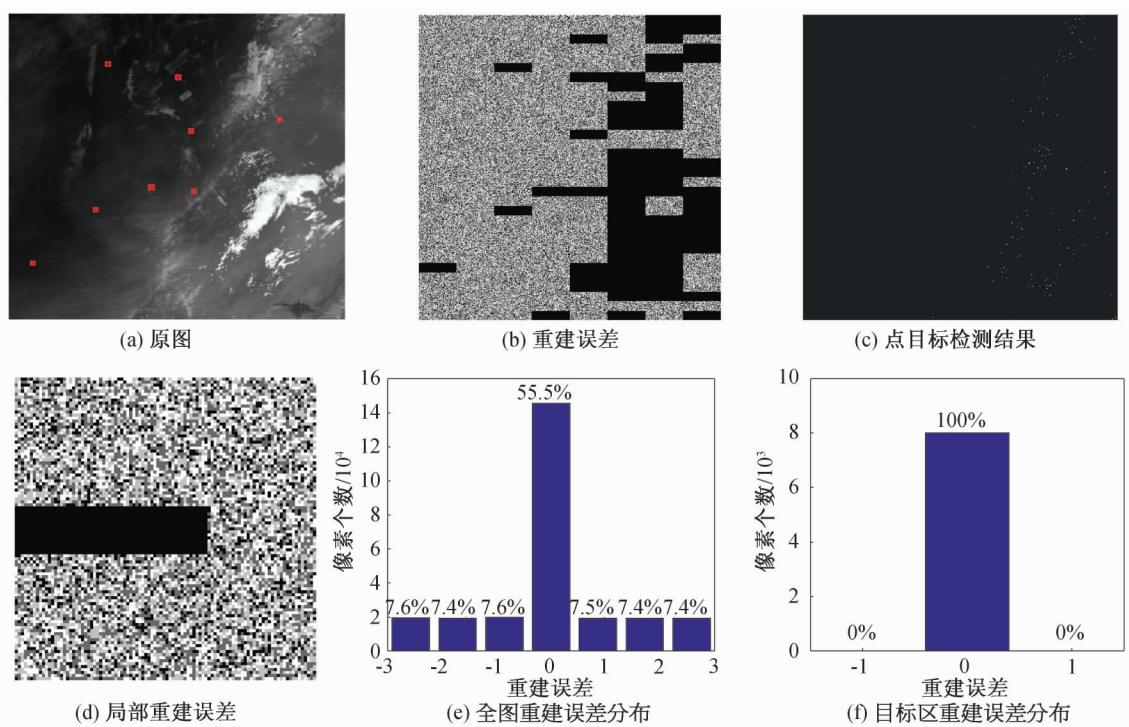


图8 本文方法的目标保真性能

Fig. 8 Objective fidelity performance of method proposed in this paper

对疑似目标点所在子块进行无损压缩,重建误差为0,即目标压缩前后信息无丢失。对背景子块进行近无损压缩,重建误差可控,背景图像信息保真性能好。在工程应用中,可能存在一定的漏检概率,利用本文方法处理后,漏检最坏结果是解压缩后该漏检点与真实点目标的偏差在3个灰度值以内。

本文方法中,点目标检测算法性能直接决定了压缩后图像的目标保真性能。若出现目标点漏检,其所在区域被视为背景区进行近无损压缩,也会带来信息损失。点目标检测作为图像压缩前的预处理手段,可采用较高的单帧虚警率(如 $k$ 为2时,对应单帧虚警率为 $2.63 \times 10^{-3}$ ),以保证较高的目标检测率。8组测试图像的平均过门限率为 $9.94 \times 10^{-4}$ ,检测概率为100%。

### 3 结束语

本文结合了点目标检测与无损-近无损压缩技术,提出了一种目标-背景分类的高保真图像压缩方法。根据点目标检测结果,将图像分为目标子块和背景子块,对它们分别进行无损压缩和近无损压缩,并通过红外遥感图像进行实验。结果表明:在点目标信息无损的前提下,采取红外点目标高保真压缩方法,压缩比和采用常规的全图无损压缩方法相比提高了40%以上。该方法可用于遥感图像星上实时压缩系统中,从而减小数据传输量,减轻数据传输压力。后续可采用多帧关联的策略,进一步降低目标检测虚警率,减少疑似目标的子块数量,提升高保真压缩算法的性能。

### 参考文献

- [1] 张玉山. 卫星遥感图像无损压缩技术改进方法[J]. 航天器工程, 2018, 27(1): 96-101.
- [2] 张喜明. 一种灵活可靠的星载图像压缩编码技术[J]. 无线电工程, 2017, 47(2): 41-44.
- [3] 张晓杰. 基于邻域灰度熵和分类的红外弱小目标检测[J]. 上海航天, 2014, 31(186): 21-24.
- [4] 李凡. 复杂背景抑制及弱小目标检测算法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2010.
- [5] 孙慧婷. 一种改进的红外弱小目标快速检测方法[J]. 激光与红外, 2017, 47(10): 1310-1315.
- [6] KIM S, LEE J. Scale invariant small target detection by optimization signal-to-clutter ratio in heterogeneous background for infrared search and track[J]. Pattern Recognition, 2012, 45(1): 393-406.
- [7] WEINBERGER M J, SEROUSSI G, SAPIRO G. The LOCO-I lossless image compression algorithm: principles and standardization into JPEG-LS[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9 (8): 1309-1324.
- [8] 颜露新, 张天序, 陈立群, 等. 防误码扩散的JPEG-LS图像无损/近无损压缩算法硬件实现方法: CN 105828070 A[P]. 2016.
- [9] YAO S, DENG L, HUANG Z. A block-based JPEG-LS compression technique with lossless region of interest [C]//Medical Imaging and Processing, Xiangyang. 2018: 3.
- [10] CAI Q, SONG L, LI G, et al. Lossy and lossless intra coding performance evaluation: HEVC, H. 264/AVC, JPEG 2000 and JPEG LS[C]//Signal & Information Processing Association Summit and Conference. Hollywood: IEEE, 2012: 1-9.
- [11] 骆盛. 基于FPGA的无人机图像去噪与压缩算法及仿真[J]. 测控技术, 2011, 30(5): 36-40.
- [12] LANGDON G, GULATI A, SEILER E. On the JPEG model for lossless image compression[C]//Data Compression Conference. [S. l.]: IEEE, 1992: 172-180.
- [13] DESHPANDE S D, ER M H, VENKATESWARLU R, et al. Max-mean and max-median filters for detection of small targets[C]//Signal and Data Processing of Small Targets 1999. Denver: International Society for Optics and Photonics, 1999: 74-84.
- [14] ZHU Y. Application-oriented region of interest based image compression using bit-allocation optimization [J]. Journal of Electronic Imaging, 2015, 24 (1): 013014.

(本文编辑:应振华)