

文章编号 1004-924X(2014)05-1363-08

无人机侦察图像压缩

王源源^{1*}, 黄大庆²

- (1. 南京航空航天大学 电子信息工程学院, 江苏 南京 210016;
2. 南京航空航天大学 无人机研究院, 江苏 南京 210016)

摘要: 为了减少图像数据的存储空间并高质量恢复侦察目标区域, 提出了一种基于感兴趣区域分割压缩重构的新方法。首先, 利用侦察目标具有规则性的特点, 识别提取出感兴趣区域。然后, 采用基于区域的分割算法将原图像分割成感兴趣区域(ROI)和背景区域(BG)。最后, 选用基于小波变换的压缩方法, 采用多级树集合分裂算法(SPIHT)嵌入式编码对分割开的 ROI 和 BG 用不同的编码比特率进行编码压缩。仿真试验证明, 在同样环境下, 采用本文提出的算法, 感兴趣区的压缩效果比较好, 恢复后图像更符合人眼视觉特性。和其他算法的处理结果比较, 本文算法的图像峰值信噪比有所提高, 很好地解决了高压缩比和目标图像质量之间的矛盾。

关键词: 感兴趣区域(ROI); 小波变换; 图像压缩; 无人机

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20142205.1363

Compression for UAV reconnaissance images

WANG Yuan-yuan^{1*}, HUANG Da-qing²

- (1. *Electronic Information Engineering College, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China*
2. *UAV Research Institute, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China*)

* *Corresponding author, E-mail: radiouav@sina.com*

Abstract: To reduce the storage space of image data and to recover the high quality image of an interested region, a method of segmented compression reconfiguration based on the interested region was proposed. Firstly, the Region of Interest(ROI) was extracted from the whole image according to some regularity of surveillance targets. The original image was then divided into ROI and Region of Background (BG) by using the segmentation algorithm. Finally, with the compression method based on wavelet transform, the ROI and BG region were compressed with different compression ratios by using the embedded coding of Set Partitioning in Hierarchical Trees (SPIHT). Simulation experiment shows that the method gives higher compression efficiency and the recovered image is more suitable for human eye under the same condition. Compared to other methods, this method increases the Peak Signal to Noise Ratio(PSNR) of image and solves the contradiction of the high compression ratio to high quality.

Key words: Region of Interest(ROI); wavelet transform; image compression; Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

收稿日期: 2013-07-04; 修订日期: 2013-08-20.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 61106018); 航空科学基金资助项目(No. 20115552031)

1 引言

随着航空摄影机性能的提高,以及数字图像技术的发展,无人机侦察的图像分辨率越来越高,图像数据量也急剧增加。这样将拍摄的图片实时传输至地面站所需要的传输带宽就加宽,而传输带宽加宽会导致干扰噪声变大,抗干扰性能变差,同时使得作用距离变短。如果要保证作用距离不变,那就要加大发射功率,提高接收灵敏度,但这又会导致设备复杂度提高,造价上涨。为了在现有的测控系统中将拍摄的高分辨率图像实时传输至地面站,就必须对图像先进行压缩再传输。但图像经过压缩之后,分辨率会有损失,尤其是以高压缩比压缩后,图像会变得模糊,甚至变形,这对于图像中的那些点状或小型区域信息影响最大,而对那些大区域范围的信息(如道路、河流、山峦等)影响却不是很大。更重要的是用户对对无人机侦察图像关心的正是图片中的那些点状或小型区域信息,而那些道路和山川等大区域信息仅用作判定小区域目标位置的相对参考。

以某小型无人机为例,选用其在 1 500 m 高空中拍摄的一幅图片进行分析。其地面收容面积为 $600\text{ m} \times 800\text{ m}$,而用户所关心的侦察目标(如军车、碉堡、坦克等)则是 $3\text{ m} \times 4\text{ m}$ 左右,甚至更小,侦察目标的长宽仅占整幅图片的 $1/200$,所以侦察目标在整幅图片中是一个点状或小型区域。对涵盖军事信息的无人机侦察图像来说,其中的军事侦察目标比较小,只占了小部分区域,而剩余的大范围区域则是一些山川、道路、树木等自然环境,人们对这些内容不是很关心,它们一般作为参照信息,后续用来判断军事侦察目标所处的地理位置。采用普通的压缩方法对整幅图像进行同压缩比压缩时,小目标就会变得模糊或严重变形,这有悖于无人机图像的压缩要求。

目前国内外针对感兴趣区域的压缩算法主要有:1、利用 JPEG2000^[1] 中提出的一般位移和最大偏移两种感兴趣区域(Region of Interest, ROI)压缩算法以及针对这 2 种算法思路的改进算法。文献[1]结合 2 种算法的优点提出了一种改进算法:将 ROI 系数的位平面划分成两部分,对每部分按不同的偏移位数分别移动。改进算法能随意调整 ROI 和背景区域(BG)的相对质量,并且兼容了一般位移方法和最大偏移方法的优点,因而图像质量得到了改善。2、采用嵌入式小

波位编码方式进行感兴趣区域的编码(如 EZW, SPIHT)。文献[9]结合了 JPEG2000 的 ROI 编码算法思想,将 SPIHT 算法应用于包含 ROI 图像的编码中,并保持 SPIHT 算法嵌入式的特点。该方法从重要的比特平面开始编码,对 ROI 优先进行编码并组织码流,以获得有效的编码效果。虽然这些算法较常用的 h. 26 \times 压缩算法性能有所改善,但目标区域还是有所损失。这是因为它们是通过产生一个感兴趣区掩模,来指明整幅图像中属于感兴趣区的小波系数,将这些小波系数上移,使它们位于较高的比特平面。这样在编码时,这些系数就被放在背景区小波变换系数的前面,从而使感兴趣区先于背景区被编码和细化。

针对目标区域的恢复质量和图像压缩比之间的矛盾,本文提出了一种新的针对感兴趣区域的压缩方法——基于感兴趣区域的分割压缩重构方法。该算法使得感兴趣目标区域小压缩甚至无损压缩,而大区域背景则可以根据传输带宽要求选择相应压缩比进行压缩。

2 方法原理

本文方法的原理框图如图 1 所示。

(1)感兴趣区域的提取^[2-3]。由于无人机侦察的目标通常是军车、碉堡、坦克等军事设备,这些目标都是规则图形,而图像中的大区域自然背景则不具备规则性^[4-5]。因而,可以通过识别规则图形区域来提取图像的感兴趣区域。先利用 Canny 边缘提取算法提取图像边缘,并根据边缘跟踪算法判断图像的连通性^[6],再根据图像的几何不变矩性质判断连通图像是否为规则图形(规则图形的周长和面积之间存在着固定的比例关系)。规则图形则为感兴趣区域。

鉴于本文主要讨论的内容是图像的分割压缩方法,有关感兴趣区域的识别提取的内容在另外文章中有具体介绍,这里不再赘述。

(2)图像的分割。找到侦察目标后,将目标区域横纵坐标的最大值与最小值构成的矩形作为图像的感兴趣区域 R,记录感兴趣区域的坐标位置信息,接着判别图像各像素是否属于 R,从而将原图像分割为 ROI 和 BG 2 个部分。

(3)图像的压缩。经过分割之后,原图像被分成了 2 个子图,可对这 2 部分采用不同的压缩比进行压缩:对感兴趣区域采用低压缩比进行压缩,

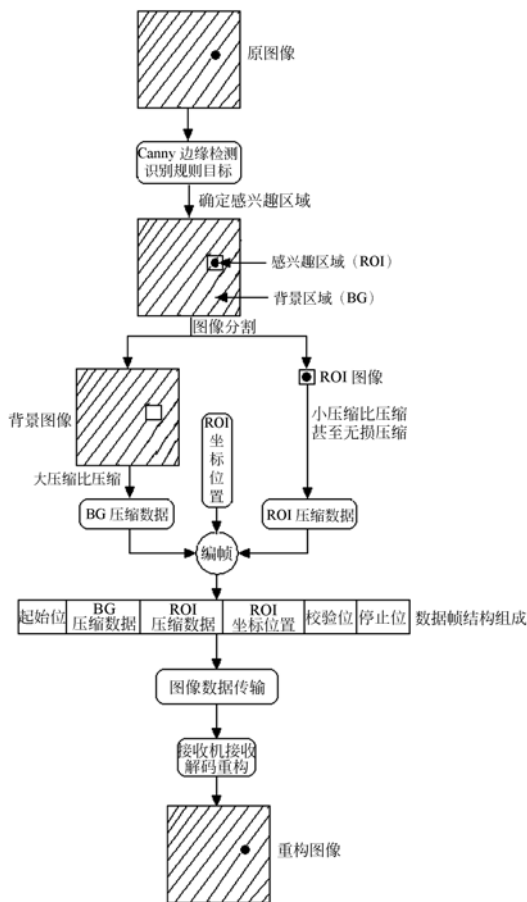


图 1 基于感兴趣区域图像压缩的原理框图

Fig. 1 Principle block diagram for image compression based on interested region

甚至是无损压缩;而对背景区域则采用高压缩比进行压缩。同时也可以根据带宽的要求选择不同的压缩方法对背景区域进行压缩。这样既保证了图像的高效率压缩,也保证了感兴趣区域的高质量重现。

(4)传输或存储。压缩后,将 2 部分的压缩数据信息以及感兴趣区域的坐标位置信息组合在一起,通过无线信道传送至地面接收站。

(5)图像的重构。接收到图像数据信息后,先进行解压缩操作,再根据感兴趣区域的坐标位置,合成出 ROI 和 BG 子图,从而重构出原始图像。

3 侦察图像的分割压缩方法

3.1 图像分割

图像分割^[5-6]是把图像分成若干个互不相交,并且具有特定性质的区域,相邻像素在像素值方

面具有不连续性和相似性。图像分割可基于这 2 个性质找到图像侦察目标。本文采用区域生长算法进行图像分割。区域生长是根据某种原则将具有相似性质的像素集合起来。区域生长主要由 3 个步骤组成:①选择合适的种子点;②确定相似性准则(生长准则);③确定生长停止条件。

实验过程中采用的基于区域生长分割算法的具体描述如下:对图像按从左到右、从上到下的顺序扫描,判断每一个像素点 (x, y) 是否属于区域 R 。

(1)选取图像内的一个像素点作为种子点 (x_0, y_0) 。将上顶点 (x_{min}, y_{min}) 作为生长区域 R 的边界点,即选择点 (x_{min}, y_{min}) 作为合适的种子点。

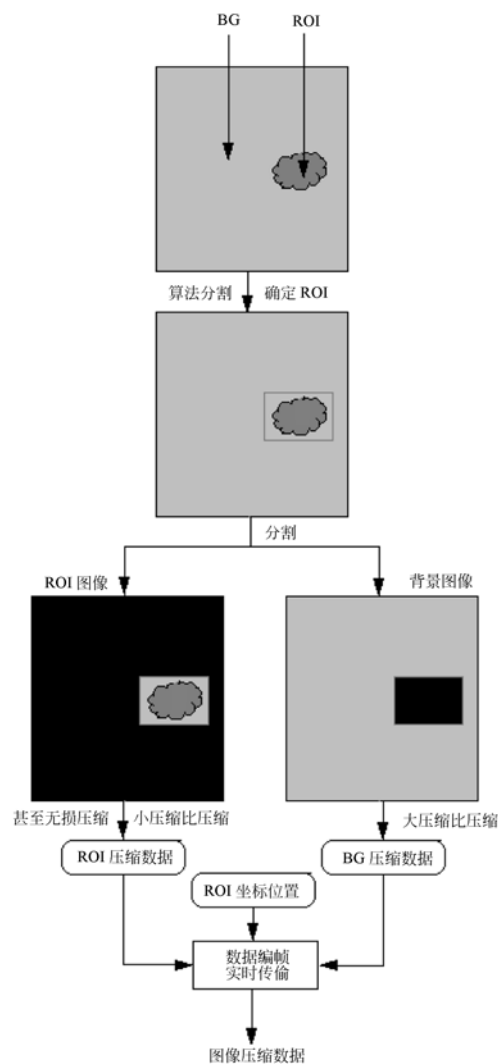


图 2 图像分割

Fig. 2 Image segmentation

(2)以 (x_0, y_0) 为中心,假设 (x, y) 是其 4 邻域某个像素点 p 的位置信息,当且仅当:

$$x_{\min} \leq x \leq x_{\max} \text{ 且 } y_{\min} \leq y \leq y_{\max}. \quad (1)$$

则该像素点 p 属于感兴趣区域 R , 将其加入至区域 R 中,即 $R=R \cup \{(x, y)\}$,同时将 (x, y) 压入堆栈。如果像素 (x, y) 不满足式(1)的条件,则将该像素点 p 归入背景区域中。则式(1)即为相应的区域生长准则。

$$(x, y) \rightarrow \begin{cases} \text{ROI}, (x, y) \in R \\ \text{BG}, (x, y) \notin R \end{cases}. \quad (2)$$

(3)从堆栈中取出一个像素,把它当做 (x_0, y_0) ,回到步骤(2)。

(4)当堆栈为空时,生长结束,图像像素扫描结束。

根据以上结果,可以将原图像分割成 ROI 和 BG 2 个子图。图像中由上顶点 (x_{\min}, y_{\min}) 和下顶点 (x_{\max}, y_{\max}) 确定的矩形区域 R 是原图像的感兴趣区域子图(I1)。将原图像背景区域像素值保持不变,而感兴趣区域像素值置为零,从而得到原图像的背景区域子图(I2)。分割示意图如图 2 所示。

3.2 图像压缩

完成图像的分割之后,就可以进行压缩了。图像压缩编码^[7-9]是通过对图像数据进行变换、编码和压缩,来去除多余数据,从而减少数字图像的数据量,以便于图像的存储和传输。可以是有损压缩,也可以是无损压缩。本文对感兴趣区域采用较低的压缩比进行压缩,甚至是无损压缩,以保证侦察目标的清晰度,对背景区域则采用高压缩比进行压缩,以减少图像的数据量便于实时传输。由于 ROI 和 BG 区域是分开压缩的,故对 2 部分可以采用不同的压缩方法:对于背景区域,可以根据传输带宽的要求选择相应的压缩方法。目前的压缩算法有很多种,小波变换由于具有良好的时频定位性质和多分辨率特性,已取代了 DCT 变换,成为新一代典型的变换编码方式^[10]。因此,本文选用基于小波变换的压缩方法。具体过程如下:

设 $x(t)$ 是平方可积函数(记作 $x(t) \in L^2(R)$), $\Psi(t)$ 被称为基本小波或母小波的函数,则

$$\text{WT}_x(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int x(t) \Psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt = \langle x(t), \Psi_b(t) \rangle. \quad (3)$$

其中: $\text{WT}_x(a, b)$ 称为 $x(t)$ 的连续小波变换,式中

$a > 0$ 是尺度因子, b 是位移, $b \in R$ 。

$$\Psi_b(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi \left(\frac{t-b}{a} \right). \quad (4)$$

实际应用中采取的离散小波变换本质上是对自变量 a 和 b 进行离散化处理。引入尺度和位移离散的小波基函数和小波变换分别为:

$$\Psi_{a_0^m, kb_0}(t) = a_0^{-\frac{m}{2}} \Psi(a_0^{-m}t - kb_0). \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{WT}_x(a_0^m, kb_0) &= \langle x(t), \Psi_{a_0^m, kb_0}(t) \rangle \\ &= a_0^{-\frac{m}{2}} \int x(t) \Psi^*(a_0^{-m}t - k) dt. \end{aligned} \quad (6)$$

在实际应用中,通常取常数为:

$$a_0 = 2, b_0 = 1$$

在不引起混淆的情况下,小波基简记为:

$$\Psi_{m, k} = 2^{-\frac{m}{2}} \Psi(2^{-m}t - k). \quad (7)$$

则离散后的小波变换可以表示为:

$$\begin{aligned} \text{WT}_x(m, k) &= \langle x(t), \Psi_{m, k}(t) \rangle \\ &= 2^{-\frac{m}{2}} \int x(t) \Psi^*(2^{-m}t - k) dt. \end{aligned} \quad (8)$$

设信号 $f(t)$ 的离散采样序列为 $f(n)$, $n=1, 2, \dots, N$, $f(t)$ 的离散二进小波变换由下式确定:

$$\begin{cases} c_{j+1}(n) = \sum_{k \in z} h(k-2n) c_j(k) \\ d_{j+1}(n) = \sum_{k \in z} g(k-2n) c_j(k) \end{cases}, \quad (9)$$

式中: $h(k-2n)$, $g(k-2n)$ 分别为由小波函数 $\Psi_{m, k}$ 确定的正交共轭滤波器系数。其中: c_j 和 d_j 分别为信号在尺度 j 上的近似部分和细节部分。原始信号可看作尺度 $j=0$ 时的近似值,即 $c_0(n) = f(n)$ 。离散信号经尺度 $j(j=1, 2, 3, \dots, j)$ 的分解,得到 $d_1, d_2, d_3, \dots, d_j, c_j$ 。若原始信号的分析频率为 f , 则分解结果对应的频带分别为 $(2^{-1}f \sim f)$, $(2^{-2}f \sim 2^{-1}f)$, $(2^{-3}f \sim 2^{-2}f)$, $\dots, (2^{-j}f \sim 2^{-j+1}f)$, $(0 \sim 2^{-j}f)$, 其包括了从高频到低频不同频带的信息,且各频带互不重叠。

对图像进行信号变换能够使图像数据在变换域上最大限度的不相关,能有效消除图像数据空间的相关性。图像经小波变换后被划分为多个高频带数据和一个低频带数据,因此具有良好的时域和频域局部化特性。高频带的系数较小,反映的是图像的细节信息;低频带的系数较大,反映了图像的轮廓信息。虽然图像变换本身并不能压缩图像,但由于变换系数具有良好的性质,只要

适当地量化和编码就可以有效地对图像进行压缩。

ROI 和 BG 各自经过小波变换后, 需对小波变换系数进行量化编码, 以实现图像压缩, 目前常用的是 SPIHT 嵌入式编码。嵌入式编码^[10]是一种位平面编码技术, 它能够对较高位平面的幅值较大的小波系数进行优先编码或解码。SPIHT 算法是在嵌入式小波零树编码(EZW)算法的基础上提出的一种高效的图像编码算法。它通过引入空间方向树对有效值进行映射, 将尽可能多的无效值系数汇集到一个子集中, 用一个单位符号表示, 因此可以节省编码的比特, 实现数据压缩^[11-16]。其编码思想是通过折半递减的阈值序列生成一系列重要位图来逼近每一个小波系数。SPIHT 算法通过初始化、分类扫描、精细扫描和阈值更新 4 个子过程来完成图像编码, 编码过程中使用了 3 个链表: 不重要系数链表 LIP, 重要系数链表 LSP 和不重要集合表 LIS。

为准确描述编码算法, 引入 2 个定义:

定义 1: 给定节点 (i, j) 的系数为 $C_{i, j}$, 阈值为 2^n , 定义重要函数 $S_n(i, j) = \begin{cases} 1, & |C_{i, j}| \geq 2^n \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$ 。

定义 2: 节点坐标的集合:

$O(i, j) = \{\text{节点}(i, j)\text{的儿女坐标}\};$

$D(i, j) = \{\text{节点}(i, j)\text{的所有子孙坐标}\};$

$H(i, j) = \{\text{所有根节点的坐标}\};$

$L(i, j) = D(i, j) - O(i, j) = \{\text{节点}(i, j)\text{除去儿女坐标后的所有子孙坐标}\}$

此外, 将 LIS 中的 2 个集合 $D(i, j)$ 和 $L(i, j)$ 分别归类为 A 类和 B 类。具体算法流程如下:

(1) 初始化

令 $n = \log_2(\max_{(i, j)} \{|C_{i, j}|\})$ 向下取整, $n_{\max} = n$;

令 $LSP = \Phi$, $LIP = \{(i, j) | (i, j) \in H\}$, $LIS = \{D(i, j) | (i, j) \in H\}$ 。

(2) 排序过程

a. 对每个 $(i, j) \in LIP(p)$, 其中 $n \leq p \leq n_{\max}$;

若 $(i, j) \in ROI$, 则输出 $S_n(i, j)$;

若 $S_n(i, j) = 1$, 则将 (i, j) 移到 LSP 中, 输出 $C_{i, j}$ 的符号。

b. 对每个 $(i, j) \in LIS(p)$, 其中 $n \leq p \leq n_{\max}$;

① (i, j) 为 A 类

若 $(i, j) \in ROI$, 输出 $S_n(D(i, j))$ 。

若 $S_n(D(i, j)) = 1$, 对于每个 $(k, l) \in O(i, j)$ 且 $(k, l) \in ROI$, 若 $S_n(k, l) = 1$, 则将 (k, l) 移到 LSP 中, 输出 $C_{k, l}$ 的符号; 若 $S_n(k, l) = 0$, 则将 (k, l) 加到 LIP (n) 末尾。

若 $L(i, j) \neq \Phi$, 则将 (i, j) 作为 B 类移到 LIS (n) 的末尾并转到第 ② 步。

若 $L(i, j) = \Phi$, 则将 (i, j) 从 LIS (p) 中移出。

若 $(k, l) \notin ROI$, 则将 (k, l) 加到 LIP (n) 末尾。

② (i, j) 为 B 类

若 $(i, j) \in ROI$, 输出 $S_n(L(i, j))$ 。

若 $S_n(L(i, j)) = 1$, 将每个 $(k, l) \in O(i, j)$ 作为 A 类移到 LIS (n) 的末尾。

将 (i, j) 从 LIS (p) 中移出。

(3) 细化过程

对每个 $(i, j) \in LSP$, 除了在 (1) 中最后一次排序加入的那些点以外, 若 $(i, j) \in ROI$, 输出 $|C_{i, j}|$ 的第 n 个最重要的比特。

(4) 阈值更新

令 $n = n - 1$, 返回 (2) 进行下一级编码扫描, 直至 n 等于用户定义的阈值比特平面 R 。

本文在对 ROI 和 BG 区域分开进行 SPIHT 编码时, 为这两部分选用不同的编码比特率以得

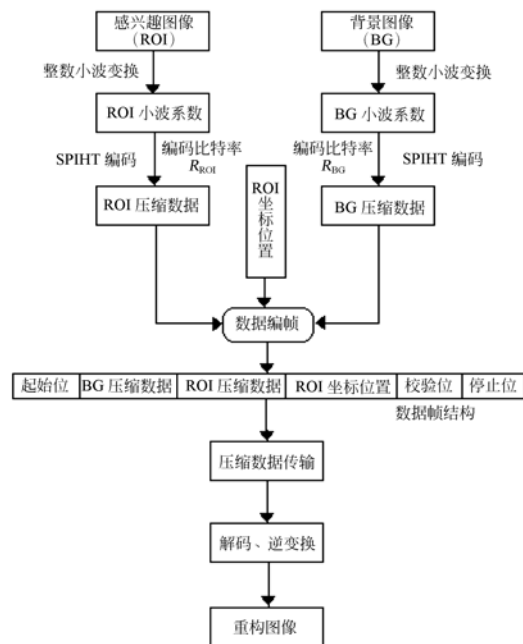


图 3 压缩编码流程

Fig. 3 Compression coding process

到不同的压缩比。为使 ROI 的质量优于 BG 的, ROI 的比特率(R_{ROI})要高于 BG 的比特率(R_{BG})。

完成压缩编码后,将两部分的压缩数据信息以及 ROI 的坐标位置信息按照一定的数据帧结构进行顺序编帧,然后将这些图像信息数据通过无线信道传送至地面接收站。接收到图像数据信息后,首先对接收到的信息以相应编码比特率进行 SPIHT 解码以及小波逆变换,再根据 ROI 的坐标位置信息,将解压缩后的 ROI 子图镶嵌至解压缩后对应的 BG 子图的相对位置,从而重构出原始图像。

本文压缩编码流程如图 3 所示。

4 实验分析

本文在 MATLAB 编程环境下,对算法进行仿真验证。实验中,采用 car 图像作为实验图像,由于原始 car 图像比较大,为了实验的方便,仅选取其中的 512×512 区域,但其分辨率并不小。选定小波滤波器为(5, 3)整数小波,变换级数为 3,

采用 SPIHT 嵌入式编码方式进行编码。仿真验证过程中,将本文方法与一般 SPIHT 及 maxshift 方法的处理结果进行了比较,结果如图 4 所示。几种方法的峰值信噪比如表 1 所示。

由图 4 可以发现,这些算法都针对图像感兴趣区域实现了特别压缩。其中:图 4(b)和图 4(c)的背景区域非常模糊,对背景景象的辨认产生了一定的影响,难以确定目标军车所处的地理环境。虽然图 4(b)和图 4(c)目标军车的重现质量高于背景区域的,但相比原图,目标军车的辨认还是有所损耗。而图 4(d)则改善了上述问题:(1)、图 4(d)中的背景区域虽然比原图模糊,但其重现质量比图 4(b)和图 4(c)有所改善,可以辨认出背景地理环境。(2)、图 4(d)的目标军车和原图几乎无差别,达到了无损压缩。综合比较结果可以看出,图 4(d)的 ROI 和 BG 的恢复质量均要高于图 4(b)和图 4(c),且不影响用户对图像各区域的辨认。另外,本文方法对 ROI 和 BG 分别选用不同的编码比特率进行编码,可以自由调整目标和背景图像质量。

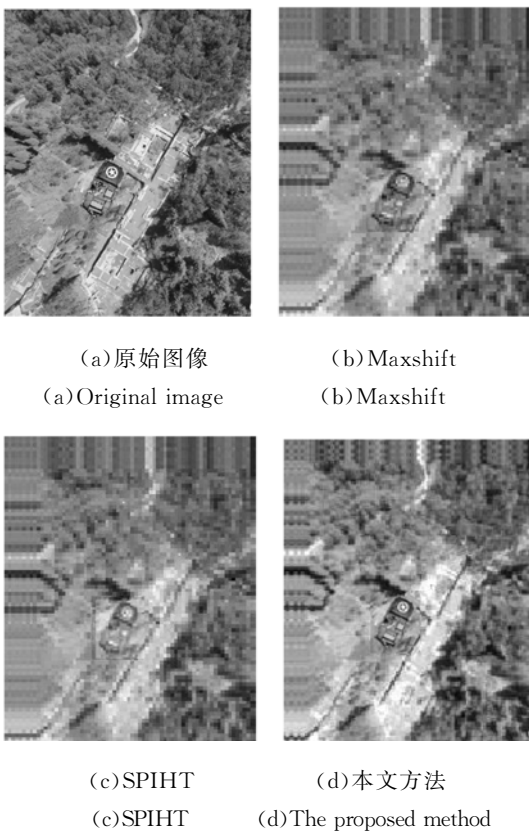


图 4 几种算法性能对比
Fig. 4 Comparison of several algorithms

表 1 几种方法的峰值信噪比(PSNR)

Tab. 1 PSNRs of several algorithms

R/bpp		0.125	0.250
maxshift	ROI	31.04	34.87
	整幅图像	23.65	25.13
SPIHT	ROI	29.92	33.43
	整幅图像	22.73	24.32
本文方法	ROI	32.85	36.15
	整幅图像	24.36	26.47

5 结论

本文提出了一种基于感兴趣区域的分割压缩重构方法。考虑到无人机侦察图像的目标具有一定的规则性这一特点,采用 Canny 边缘检测方法提取图像的 ROI,将原图像分割成 ROI 和 BG 两个区域。经过小波变换后,采用 SPIHT 嵌入式编码对分割开的 ROI 和 BG 区域用不同的编码比特率进行编码压缩。解码后,根据 ROI 的坐标位置信息,组合 ROI 子图和 BG 区域子图,重构

出原始图像,并对本文方法与一般的 SPIHT 及 Maxshift 方法进行了比较。实验证明本文方法对 ROI 和 BG 区域的恢复质量比其他 2 种方法都

高,较好地解决了实时传输和侦察目标失真度小之间的矛盾。

参考文献:

- [1] 邵华凤,黄大庆.基于感兴趣区域的无人机侦察图像压缩[J].遥测遥控,2010,1(31):61-64.
TAI H F, HUANG D Q. UAV reconnaissance image compression based on region of interest [J]. *Journal of Telemetry, Tracking and Command*, 2010, 1(31):61-64. (in Chinese)
- [2] 李二森,张保明,周晓明.自适应 Canny 边缘检测算法研究[J].测绘科学,2008,33(6):119-123.
LI E S, ZHANG B M, ZHOU X M. Study on the self-adaptive Canny edge detection algorithm [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2008, 33(6): 119-123. (in Chinese)
- [3] 贾平,徐宁,张叶.基于局部特征提取的目标自动识别[J].光学精密工程,2013,21(7):1898-1905.
JIA P, XU N, ZHANG Y. Automatic target recognition based on local feature extraction [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(7):1898-1905. (in Chinese)
- [4] 李定珍,郭建昌. B2DPCA 和 ELM 人脸识别法研究[J].液晶与显示,2013,28(3):440-445.
LI D Z, GUO J C. Face recognition algorithm based on B2DPCA and ELM [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(3):440-445. (in Chinese)
- [5] 王灿进,孙涛,王挺峰,等.基于轮廓特征的神经网络目标识别研究[J].液晶与显示,2013,28(4):641-648.
WANG C J, SUN T, WANG T F, et al. Target recognition using Neural Network based on Contour features [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(4):641-648. (in Chinese)
- [6] LU H, TAN Y P. An effective post-refinement method for shot boundary detection [J]. *IEEE Transactions on circuits and systems for video Technology*, 2005, 15(11):1407-1421.
- [7] 何志勇,孙立宁,黄伟国,等.基于 Otsu 准则和直线截距直方图的阈值分割[J].光学精密工程,2012,20(10):2315-2323.
HE ZH Y, SUN L N, HUANG W G, et al. Thresholding segmentation algorithm based on Otsu criterion and line intercept histogram [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20(10):2315-2323. (in Chinese)
- [8] 赵宏伟,陈霄,刘萍萍,等.视觉显著目标的自适应分割[J].光学精密工程,2013,21(2):531-538.
ZHAO H W, CHEN X, LIU P P, et al. Adaptive segmentation for visual salient object [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(2):531-538. (in Chinese)
- [9] 张旭东,卢国栋,冯健.图像编码基础和小波压缩技术-原理、算法和标准[M].北京:清华大学出版社,2004.
ZHANG X D, LU G D, FENG J. *Image Coding and Wavelet Compression-Principle Algorithm and Measure* [M]. Beijing: Tsinghua University Publishing Company, 2004. (in Chinese)
- [10] 殷玉男,王晓东,李丙玉.基于预测 JPEG200 的 MODIS 红外辐射多光谱图像无损压缩算法[J].液晶与显示,2013,28(6):922-926.
YIN Y N, WANG X D, LI B Y. Lossless Compression method based on prediction and JPEG2000 for MODIS emissive IR bands multispectral image [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(6):922-923. (in Chinese)
- [11] 邵华凤,黄大庆.基于小波的感兴趣区域无人机侦察图像的压缩[J].信息化研究,2009,35(11):13-15.
TAI H F, HUANG D Q. A method of ROI compression of UAV reconnaissance image based on wavelet [J]. *Informatization Research*, 2009, 35(11):13-15. (in Chinese)
- [12] 陈晓雷,马义德.一种感兴趣区图像压缩编码算法[J].计算机工程与应用,2007,43(32):69-73.

- CHEN X L, MA Y D. Region of interest image coding algorithm [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2007, 43(32):69-73. (in Chinese)
- [13] SHAPIRO J M. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients [J]. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 1993, 41 (12): 3445-3462.
- [14] 席志红, 许新利, 刘利彬. 一种适于 ROI 区域的图像编码算法的研究 [J]. *电子科技*, 2007, (6): 55-58.
- XI ZH H, XU X L, LIU L B. Research of image coding algorithm suitable for ROI region [J]. *Electronic Science and Technology*, 2007, (6): 55-58. (in Chinese)
- [15] 李晓飞, 马大玮, 范小麟. 一种基于 SPIHT 算法的兴趣区域编码新方法 [J]. *计算机应用研究*, 2007, (2): 189-191.
- LI X F, MA D W, FAN X L. New region of interest coding method based on SPIHT algorithm [J]. *Application Research of Computers*, 2007, (2): 189-191. (in Chinese)
- [16] 杨晓, 杨学友, 叶声华. 低码率下任意形状感兴趣区域编码 [J]. *光学精密工程*, 2012, 20(4): 896-905.
- YANG X, YANG X Y, YE SH H. Arbitrary shape ROI image encoding at low bit rate [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20(4): 896-905. (in Chinese)

作者简介:



王源源(1988—), 女, 江苏丹阳人, 硕士。主要从事图像处理、遥控遥测方面的研究。E-mail: wangyy20724@163.com

导师简介:



黄大庆(1959—), 男, 江苏南京人, 研究员, 博士生导师, 1982 年于南京航空航天大学雷达与电子对抗专业获得博士学位。主要从事遥控遥测、图像处理和电磁兼容方面的研究。E-mail: radiouav@sina.com

(版权所有 未经许可 不得转载)