

文章编号: 1672-2892(2010)05-0501-04

海洋合成孔径雷达图像的一种高效压缩方法

张宏洲, 王军锋, 郁文贤

(上海交通大学 电子信息与电气工程学院, 上海 200240)

摘要: 针对通用压缩算法未利用合成孔径雷达(SAR)图像特征的不足, 提出一种基于概率分布的自适应海洋 SAR 图像压缩算法。利用海洋 SAR 图像的概率分布, 根据目标的分布设计量化方案, 使目标和背景得到不同程度的保留。利用场景的稀疏性, 将阈值以上的像素映射到三元组, 对其灰度和位置信息分别熵编码; 利用剩余背景层灰度偏差较小的特点作位平面编码。实验结果表明, 该算法能有效地压缩图像, 同码率下峰值信噪比(PSNR)较 JPEG2000 高 5 dB~10 dB。本文算法复杂度低, 对比度保持好, 适用于针对不同需求的海面舰船 SAR 图像压缩。

关键词: 海洋合成孔径雷达; 图像压缩; 概率密度分布

中图分类号: TN911.73; TP391

文献标识码: A

An efficient compression algorithm for ocean-SAR image

ZHANG Hong-zhou, WANG Jun-feng, YU Wen-xian

(School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Considering the defection of general compression algorithms which neglect the characteristics of Synthetic Aperture Radar(SAR) images, an adaptive compression algorithm based on the distribution of ocean-SAR images was proposed. According to the distribution, a quantization strategy was employed, through which target and background were retained respectively. Using the sparsity of the scene, pixels above the threshold were mapped to a triple before entropy encoding for both grayscales and locations. Then Bit Plane Encoder(BPE) was employed considering the relatively small deviation of the remaining background. Experimental results showed that the Peak Signal Noise Ratio(PSNR) of proposed algorithm was 5 dB~10 dB higher than JPEG2000 at the same bit rates. The proposed algorithm, with better contrast and lower computational complexity, is well suited to various requirements of ocean-SAR image compression.

Key words: ocean-SAR; image compression; probability density distribution

随着海洋合成孔径雷达技术的迅速发展, 海洋 SAR 图像的分辨力越来越高。同时 SAR 系统逐步向多极化、多波段、多模式发展, 数据量也相应增大。以美国 SAR 地面处理系统 ASF(Alaska SAR Facility)为例, 它每天处理 150 幅 8192×8192 的 4 视 SAR 图像, 也就是产生 9 600 MB 数据图像^[1]。如此大的数据量将导致庞大的在线存储需要, 并且通过计算机网络传输数据的效率也很低。为解决数据存储与图像质量之间的矛盾, 有必要对 SAR 图像进行高效压缩。分析 SAR 图像的主要数据特征可以发现, 对 SAR 图像进行压缩是相当困难的。经典的图像压缩算法最初是为光学图像设计的^[2], SAR 图像不同于光学图像的数据特性导致这些算法用于 SAR 图像压缩时往往表现不佳。例如静态图像压缩标准 JPEG2000^[3]具有相当好的压缩性能, 但是作为图像的通用压缩方法, 未能充分利用海洋 SAR 图像的特点。郭迎征^[4]指出 SAR 图像中对背景区域和目标区域采用一种压缩方法是不合理的, 因此提出先对 SAR 图像作“区域分割”。该算法遵循从局部到整体的思路, 先依据相似性准则逐像素扫描, 再归并出背景和区域。不足之处是计算复杂度很高, 尤其不适用于大尺寸的图像。为弥补现有压缩算法在海洋 SAR 图像压缩方面的不足, 本文从全局图像出发, 充分考虑 SAR 图像的统计特性, 针对舰船和海面像素灰度值的概率分布, 对全图制定统一的量化标准。量化后利用场景的稀疏性, 采取映射到三元组然后位平面编码和熵编码结合的无损编码方案。算法复杂度低, 压缩性能好, 适合机载及星载海洋合成孔径雷达图像的压缩。

1 算法描述

本文算法主要包括参数估计、量化、编码3个环节,如图1所示。首先根据中心极限定理,对图像作平滑和参数估计,得到概率分布的参数;然后对目标作最优量化;最后利用场景的稀疏性,将量化后的数据映射到三元组,然后对灰度值和位置信息分别作 Huffman 编码。海面背景信息在位平面分割后依次行程长度编码(Run-Length Encoding, RLE)和 Huffman 编码。

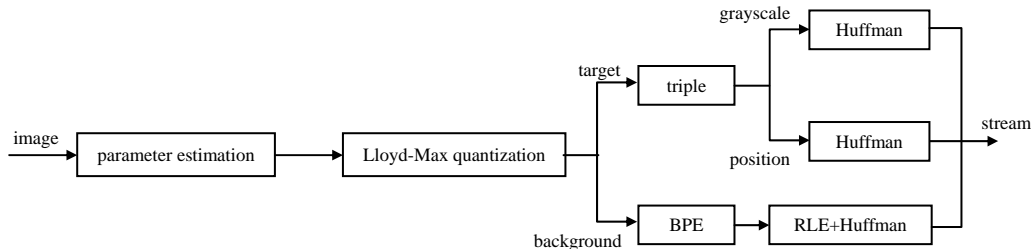


Fig.1 Block scheme of the proposed algorithm
图1 算法流程图

1.1 量化

海面舰船目标一般认为服从 Rayleigh(瑞利)分布^[5],其灰度值的概率密度函数为:

$$f(A) = \left(\frac{A}{\mu^2}\right) \exp\left(-\frac{A^2}{2\mu^2}\right), A \geq 0 \quad (1)$$

式中: A 为灰度值; μ 为 Rayleigh 分布的均值。在高分辨力或低入射余角的情况下,测量到的海杂波幅度的概率密度函数呈现出与瑞利分布很大的偏差,而与 K 分布模型比较吻合^[6]:

$$f(A) = \frac{2}{A} \left(\frac{vA}{\mu}\right)^{(v+1)/2} \frac{1}{\Gamma(v)} K_{v-1} \left[2 \left(\frac{vA}{\mu}\right)^{1/2} \right], A \geq 0, v \geq 0 \quad (2)$$

式中: μ 为杂波均值; $\Gamma(\cdot)$ 是标准 Gamma 函数; $K_{v-1}(\cdot)$ 是 $v-1$ 阶第二类修正贝塞尔函数。 v 为形状参数, v 越小表示杂波越尖锐,即拖尾性越严重。

从一维灰度直方图出发, Otsu(大津)^[7]提出的最大类间方差法是一种广泛应用的阈值选取方法,其基本思路是:选取最佳阈值,使得不同类间分离性最好^[8]。该判决准则基于灰度直方图的一阶统计特性,运算速度快,非常适用于实时处理。

然而,由于场景的稀疏性,在概率分布直方图上,目标像素比例相对较少,无法直接对 Rayleigh 和 K 分布的概率密度曲线作参数估计。同时考虑到相干斑噪声的存在,降低了相邻像素间的相关性,本文先用 $m \times m$ 阶平滑算子对图像进行平滑,忽略目标边缘像素的影响,可等效为 $m \times m$ 个独立同分布的 Rayleigh 分布和 K 分布分别线性相加。根据林德伯格-列维(Lindburg-Levy)中心极限定理^[9],设 X_1, X_2, \dots 为独立同分布的随机变量序列,均值 $E(X_i) = \mu$, 方差 $D(X_i) = \sigma^2, i=1, 2, \dots$, 则对任意实数 ε , 有

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n X_i - n\mu}{\sqrt{n}\sigma} \leq \varepsilon \right\} \sim N(0,1) \quad (3)$$

即独立同分布且数学期望和方差有限的随机变量序列,其标准化和以标准正态分布为极限。估计出平滑后均值较大的正态分布的均值,即 Rayleigh 分布的均值 μ_1 ; 均值较小的正态分布的均值,即 K 分布的均值 μ_2 , 再利用方差 σ_2^2 , 根据 K 分布的参数关系^[10]:

$$\sigma_2^2 = \mu_2^2 \left(1 + \frac{2}{v}\right) \quad (4)$$

可得到形状参数 v 。

平滑后,由于目标与背景的边缘区域的存在,出现了目标、背景以及两者之间的多次峰值,如图2所示。本文采用基于 3σ 准则的阈值选取方法^[11],认为目标像素均落在 $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$ 内是肯定的事,通过多次迭代得到阈值。

以下是迭代算法的步骤:

1) 将平滑后的图像列化为一维向量;

2) 按照最大类间方差法确定阈值 T ;

3) 取大于 T 的像素, 用最大似然估计法估计均值 $\mu_i (i=1,2)$ 和标准差 σ_i ;

4) 若 $|\mu_i - 3\sigma_i| < T$, 停止计算; 否则, 取大于阈值的像素组成新的向量, 转步骤 2)。

估计出 Rayleigh 和 K 分布的参数后, 本文采用统计意义上均方误差最小的最优量化器(Lloyd-Max 量化器)对图像量化。根据 Rayleigh 分布和 K 分布的特点, 考虑到背景信息的重要程度低于目标, 根据目标的参数设计量化器, 使得背景所在的灰度区间量化较粗, 目标的灰度区间量化较细, 同时背景像素间保持了原图的对比度, 有利于后期的图像解译等处理。

1.2 编码

1) 对舰船目标的编码

考虑到目标的邻近灰度值波动性大, 不适宜使用行程编码, 本文先遍历全图, 对大于阈值 T 的像素, 将其灰度及位置信息映射到三元组, 实现第一次压缩; 然后根据 Rayleigh 分布构建 Huffman 编码表, 对灰度值编码, 实现第二次压缩。由于目标在图像中位置较为集中, 对位置信息采用 Huffman 编码, 可大大减少比特数。同时, 这种方法可以将背景的灰度值偏差大大减小, 有利于下一步压缩。

2) 对海面背景的编码

去除较高的灰度值后, 剩余的灰度值偏差较小。同时考虑到对海面信息的需求, 对背景采用分级编码可行而且很有必要。位平面编码(Bit Plane Encoder, BPE)利用了背景灰度偏差相对较小的特点, 将其分割为若干位平面, 位平面内部使用行程编码。由于采用无损编码, 编码环节不会带来失真。

2 实验结果

测试图像来自 EMISAR, Denmark University of Technology, 极化方式为 VV, 分辨力达到 1 m。JPEG2000 选择 9/7 小波变换。表 1 和图 3 给出本文算法和 JPEG2000 算法的性能比较。从表 1 可以看出, 同码率下本文算法的 PSNR 较 JPEG2000 高 5 dB~10 dB。

表 1 压缩性能比较

Table1 Compression performance comparison

quantization level	rate bit/pixel	proposed algorithm PSNR/dB	JPEG2000 PSNR/dB
256	2.669 7	59.195 7	48.609 6
128	1.643 9	53.105 0	44.692 1
64	0.517 6	45.887 4	40.728 0
32	0.041 2	36.044 0	38.058 9
16	0.016 7	27.029 4	37.138 9
8	0.015 0	23.613 6	36.985 1

图 4 为测试图像截取目标周围部分所得图像, 图 4(a)为原图像; 图 4(b)、图 4(d)分别为本文算法在码率 2.669 7 bit/pixel 和 1.643 9 bit/pixel 下的重建图。

图 4(c)、图 4(e)分别为码率 2.669 7 bit/pixel 和 1.643 9 bit/pixel 下 JPEG2000 的重建图。从图中可以看出, 本文算法对比度保持较 JPEG2000 好, 更接近原图。

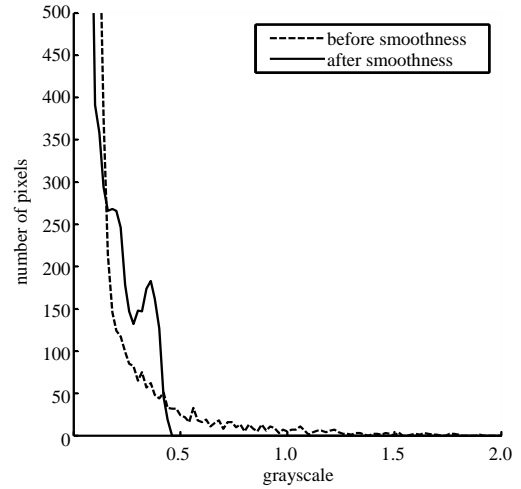


Fig.2 Probability density histogram before and after smoothness
图 2 平滑前后概率密度直方图

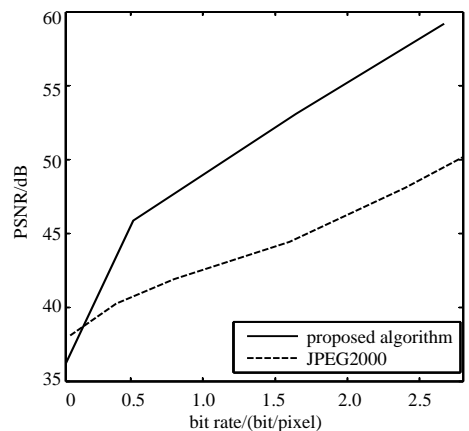


Fig.3 Comparison of PSNR between proposed algorithm and JPEG2000
图 3 本文算法与 JPEG2000 的 PSNR 比较

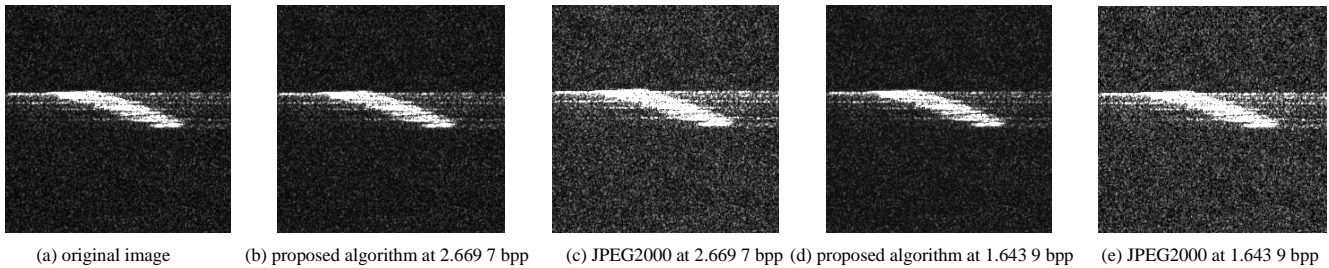


Fig.4 Comparison of reconstructed result between proposed algorithm and JPEG2000

图4 本文算法与JPEG2000的重建效果比较

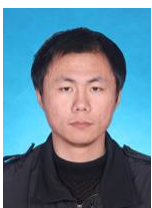
3 结论

针对海洋 SAR 图像的概率分布特点和需求, 本文提出一种基于概率分布的自适应海洋 SAR 图像压缩算法。从目标的概率分布出发, 通过参数估计设计出最优量化器, 对目标和背景进行量化, 量化后采用无损编码。该算法复杂度低, 压缩性能优良, 适用于海洋 SAR 图像的压缩需求。

参考文献:

- [1] Chang C Y,Kwok R,Curlander J C. Spatial Compression of Seasat SAR Imagery[J]. IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, 1988,26(6):673-685.
- [2] 尹显东,李在铭,姚军,等. 图像压缩标准研究的发展与前景[J]. 信息与电子工程, 2003,1(4):326-331. (YIN X D,LI Z M,YAO J,et al. A Survey on Trends of Image Compression Coding Standards[J]. Information and Electronic Engineering, 2003,1(4):326-331.)
- [3] 曾孝平,张春香. 基于 JPEG2000 的优化编码算法[J]. 信息与电子工程, 2006,4(3):161-164. (ZENG Xiao-ping,ZHANG Chun-xiang. Improved Coding Algorithm Based on JPEG2000[J]. Information and Electronic Engineering, 2006,4(3):161-164.)
- [4] 郭迎征,许录平. 基于细节信息保护的 SAR 图像压缩[J]. 量子电子学报, 2004,21(5):577-582. (GUO Ying-zheng,XU Lu-ping. SAR image compression based on texture information protection[J]. Chinese Journal of Quantum Electronics, 2004,21(5):577-582.)
- [5] Joo T H,Held D N. An adaptive quantization method for burst mode synthetic aperture radar[C]// Int. Radar Conf., Arlington, 1985:385-390. New York:Institute of Electrical and Electronics Engineers,Inc., 1985.
- [6] 胡文琳,王永良,王首勇. 基于 $z^r \log(z)$ 期望的 K 分布参数估计[J]. 电子与信息学报, 2008,30(1):203-205. (HU Wen-lin, WANG Yong-liang,WANG Shou-yong. Estimation of the Parameters of K-distribution Based on $z^r \log(z)$ Expectation[J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2008,30(1):203-205.)
- [7] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histogram[J]. IEEE Trans., 1979,SMC9(1):62-66.
- [8] 张玲,郭磊民,何伟,等. 一种基于最大类间方差和区域生长的图像分割法[J]. 信息与电子工程. 2005,3(2):91-96. (ZHANG Ling,GUO Lei-min,HE Wei,et al. An Image Segmentation Algorithm Based on Maximal Variance Between-Class and Region Growing[J]. Information and Electronic Engineering, 2005,3(2):91-96.)
- [9] 齐民友,刘禄勤,龚小庆,等. 概率论与数理统计[M]. 北京:高等教育出版社, 2002. (QI Min-you,LIU Lu-qin,GONG Xiao-qing,et al. Probability and Mathematical Statistics[M]. Beijing:Higher Education Press, 2002.)
- [10] Redding Nicholas J. Estimating the Parameters of the K Distribution in the Intensity Domain[R]. Report DSTO-TR-0839, DSTO Electronics and Surveillance Research Laboratory, South Australia, Tech. Rep., July 1999.
- [11] 蒋焕文,孙续. 电子测量[M]. 2 版. 北京:中国计量出版社, 1989. (JIANG Huan-wen,SUN Xu. Electronic Measurement[M]. 2nd Ed. Beijing:China Metrology Publishing House, 1989.)

作者简介:



张宏洲(1986-), 男, 山西省长治市人, 在读硕士研究生, 研究方向为 SAR 数据和图像压缩, email:zhang.hongzhou@hotmail.com.

王军锋(1971-), 男, 河南平顶山人, 博士, 副教授, 主要研究方向为雷达信号处理、医学信号处理、一般性的信号处理。

郁文贤(1964-), 男, 上海市人, 博士, 教授, 主要研究方向为多维信号与信息处理、先进探测技术。