

一种基于快速积分图像的全极化 SAR 图像窗口 量化及伪彩色合成方法

张波 仇晓兰 尤红建 丁赤飏

(中国科学院大学中国科学院空间信息处理与应用系统技术重点实验室 中国科学院电子学研究所 北京 100190)

摘要: SAR 图像动态范围非常大,如何通过合理的量化,既保持图像中目标的信息又有利于判读人员进行目视解译,一直是 SAR 图像可视化所关心的重要问题。对于全极化 SAR 而言,生成不同极化分量的伪彩色合成图是一种信息展示的有效方式,伪彩色合成的关键是将高动态范围的图像量化至有限灰阶。现有方法往往存在易出现量化饱和、强目标信息受损的现象。提出了一种基于积分图像的窗口量化算法,通过合理的窗口选取及动态量化门限确定策略,实现了整幅图像的良好可视化和局部强目标的细节展示。在此基础上进行极化伪彩色合成,能够有效改善信息呈现效果。另外,算法实现采用快速积分数值获取策略,使算法实现效率高,可满足实时显示的要求。

关键词: SAR 图像;量化;积分图像;窗口滤波

中图分类号: TP2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.604

Full-polarimetric SAR image window scaling and pseudo-color composed method based on rapid integral image algorithm

Zhang Bo Qiu Xiaolan You Hongjian Ding Chibiao

(Chinese Academy of Sciences, Key Laboratory of Technology in Geo-Spatial Information and Application System, Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: Because of the highly-dynamic range of SAR image, how to with reasonable quantization both keep the target information in image and easy to visual interpretation has been on important issue to concern. As far as fully-polarimetric SAR, it is a good way to exhibit the information by producing a Pseudo-Color Image. In order to realize this target, compress the highly-dynamic data to a limited gray scale is the key step. Fully saturation, Strong target damaging is often caused by using the past methods. A new method is proposed in this paper to visualize the strong target better and improve the specified details quality. At the same time, this algorithm is fast by using the rapid integral image method to estimate the statistical parameter. Meantime the rapid-time exhibition is possible.

Keywords: SAR Image; scaling; integral image; window filtering

1 引言

近年来随着 SAR 技术的不断发展, SAR 在分辨率、极化信息、多维信息获取等方面的能力不断提升,多/全极化成像逐渐成为一种主要 SAR 成像模式^[1-2,10]。伴随着 SAR 极化信息获取能力的增强, SAR 图像应用也在不断进步,而 SAR 图像的人工目视解译一直是其中的重要应用模式之一^[5-7]。多极化 SAR 为图像解译提供了更多可用的信息,同时也对 SAR 图像的可视化提出了更高的要求^[9]。多极化 SAR 图像的伪彩色融合是一种常用的可视化呈现方式,通过引入色彩

信息,能够有效展示目标的极化信息^[3,6]。伪彩色合成的第一步即是将高动态范围的极化 SAR 图像或极化分量量化至有限的灰阶,然后按照一定的配色方案进行伪彩化^[8,11]。然而,由于 SAR 图像本身和分解后的极化分量其动态范围均非常大,且分布很不均匀。因此,如何进行合理的量化并在此基础上进行伪彩化,使图像在更全面的展示目标信息的同时更便于人眼判读,是一个值得研究的问题。

在极化 SAR 图像量化和伪彩色合成方面,最常用的方法是使用 Pauli 分解得到 3 个极化分量,随后通过 3 个

极化分量的量化和 RGB 色彩的对应得到伪彩色图像^[9]。其中,目前比较常见的量化处理方式是对高动态范围的数据做变换,量化的方法主要有以下几类:

1)对数变换量化法

该方法首先对目标进行对数变换。然后取高低 2 个适当的门限值再线性量化到规定的范围内,极化 SAR 处理软件 PolSARPro 中采用的就是这种方法。而通过研究我们发现,对数量化法有 2 个问题:

①对数压缩对于人造目标容易出现过压缩现象,导致原来在灰度图像上偏暗背景部分和目标图像混杂,不易区分;

②高低门限值是全场景固定的,且门限如何选取尚缺乏依据。

2)灰度均分法

灰度均分法将有限的图像点数按照灰度从大到小排列,并平均地分布到 0~255 这个灰度阶内。这种方法能够将 SAR 图像以比较有利于人眼观察的方式展现出来,但是当图像较大时,往往计算速度会下降很多,算法的实时性得不到保证。

针对上述方法中出现的問題,本文提出了一种基于快速积分图像的窗口量化算法。该方法基于对大量 SAR 图像的先验知识,在图像中采用一个滑动的窗口对图像中的点做了一系列的处理,从而增强了图像的对比度,改善了图像的细节信息,同时在三通道合成时,对三通道图像做功率平均,可很好地提高伪彩色图像的饱和度。

2 算法原理及实现方法

2.1 算法总体流程

基于快速积分图像的窗口量化及多极化伪彩色合成方法总体流程如图 1 所示。

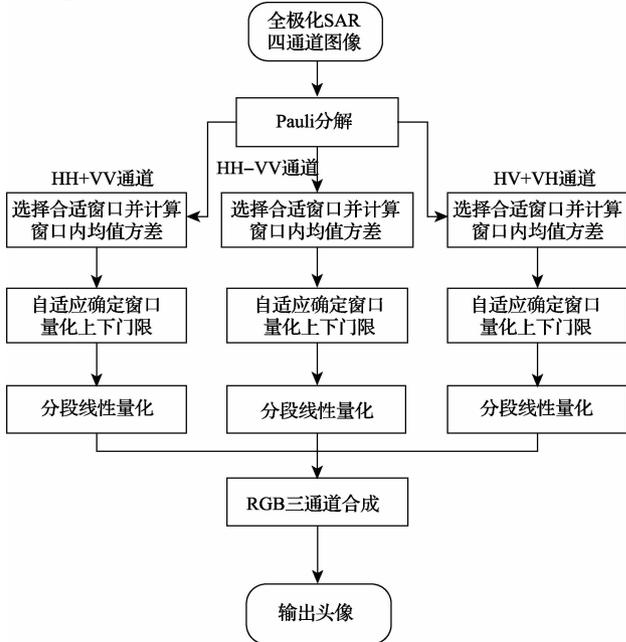


图 1 算法的总体流程

2.2 各步骤及其实现方法

1)Pauli 分解及其伪彩色方案

全极化 SAR 数据一般具有 HH 、 HV 、 VH 、 VV 4 个通道的分量。对一个散射点,一般用 S 矩阵描述其特性:

$$S = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix}$$

Pauli 分解将 S 矩阵分解为:

$$S = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} = a \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + b \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} + c \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} + d \begin{bmatrix} 0 & i \\ i & 0 \end{bmatrix}$$

从上式中可以解得:

$$\begin{cases} a = S_{HH} + S_{VV} \\ b = S_{HH} - S_{VV} \\ c = S_{HV} + S_{VH} \\ d = i(S_{VH} - S_{HV}) \end{cases}$$

一般认为 SAR 图像满足互易条件,此时 $s_{VH} = S_{HV}$, 即 $d=0$ 。此即为 Pauli 分解的三通道分量,不同的基矩阵对应着不同的散射机制,其中 a 奇次散射, b 为偶次散射, c 为漫散射或者体散射。而在实际地貌中,海面一般表现出奇次散射,森林、草地等则表现出漫散射,而人工目标一般有比较强的二次散射,所以为了区分这 3 种截然不同的地貌,以红黄蓝 3 种颜色分别给 3 个通道赋值, a 对应蓝色, b 对应红色, c 对应绿色。至此得到了图像的三通道分量。

2)自适应窗口尺寸选取方法

窗口的大小选择跟场景和 SAR 图像的分辨率都有关系。如果窗口选择过大,会导致细节效果不明显,如果窗口选择过小,会导致噪声在三通道中都被放大,有明显的边际效应,此处通过本文的实验,简易窗口选取在 $300 \times 300 \sim 500 \times 500$ 。

3)积分图像获得均值和标准差的快速积分方法

积分图像是一个和梯度图像相反的概念,假设一幅图像为 $I(x, y)$,其 n 阶积分图像为 $I^n(x, y)$,则:

$$I^n(x, y) = \sum_{j=1}^x \sum_{i=1}^y I^n(x, y)$$

每一阶积分图像都有含义,此算法中取积分图像的一阶和二阶图像,用以快速计算窗口图像方差,具体地,设窗口左上角、右上角、左下角、右下角 4 个点的坐标分别为: (x_1, y_1) , (x_1, y_2) , (x_2, y_1) , (x_2, y_2) 。那么窗口图像的均值和方差为:

$$\mu = (I(x_2, y_2) + I(x_1, y_1) - I(x_1, y_2) - I(x_2, y_1)) / (y_2 - y_1)(x_2 - x_1) \sigma^2 = (I^2(x_2, y_2) + I^2(x_1, y_1) - I^2(x_1, y_2) - I^2(x_2, y_1)) / (y_2 - y_1)(x_2 - x_1)$$

该方法可以避免每次都去循环遍历窗口图像中的每一个值来计算均值和方差,可以将计算的复杂度从原来的

$O(N^2)$ 降低为 $O(1)$,这样大大地提高了程序运行的效率,程序运行的实时性得到了保证。

4) 量化策略

大量的实验数据证明,大部分的 SAR 图像的统计概率分布特性满足瑞利分布,也即:

$$f(z) = \frac{z}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma^2}\right) z \geq 0$$

在量化区间的选择上,需要保证 0.95~0.99 这个比例的点在量化区间内,这是一个处理 SAR 图像的经验值,论文《极化 SAR 处理中若干问题的研究》^[4]中也取了个范围的累计概率值。由于对 SAR 图像的分布有了一个先验知识,本文对区间上限的选择定在 $\mu + 3\sigma$ 上,在标准的瑞利分布中, $\mu + 3\sigma$ 保证了图像上 0.99 以上的点在图像上,在实际情况中,有些图像由于采样点数不够,可能会跟理想的瑞利分布有偏差,但是实验发现 $\mu + 3\sigma$ 可以保证图像中 95%~99% 的点在图像上,这对大部分 SAR 图像的处理是一个可以接受的上限值,因此区间的选择为 $[0, \mu + 3\sigma]$,在区间内,采用分段线性量化,在 $[0, \mu]$ 和 $[\mu, \mu + 3\sigma]$ 2 个区间分开处理。SAR 图像的大部分信息点集中在 $[0, \mu]$ 这一区间,而在 $[\mu, \mu + 3\sigma]$ 上比较做少。所以采取了对 $[0, \mu]$ 内做线性拉伸,在 $[\mu, \mu + 3\sigma]$ 内对其进行线性压缩。具体地,设图像在位置 (x, y) 处的像素点灰度值为 $f(x, y)$,窗口内的图像均值为 μ ,标准差为 σ ,则:

$$g(x, y) = \begin{cases} \frac{f(x, y)}{5\mu}, & f(x, y) \leq \mu \\ \frac{4(f(x, y) - \mu)}{15\sigma} + \frac{1}{5}, & \mu \leq f(x, y) \leq \mu + 3\sigma \\ 1, & f(x, y) > \mu + 3\sigma \end{cases}$$

$g(x, y)$ 为变换后的目标像素值。通过上式,将区间 $[0, \mu]$ 内的点量化到 $[0, 0.2]$,而将 $[\mu, \mu + 3\sigma]$ 区间内的点量化到 $[0.2, 1]$,区间归一化到 $[0, 1]$ 。选择分割点为 0.2 的主要原因是,在 SAR 图像的目视解译中,大量实验证明,均值在整幅图像最大值的 1/5 左右时,目视效果比较理想,这对一般 SAR 图像都是成立的,是一个合理的分割点。

3 实验结果和分析

本次实验采用了的 RARDARSAT2 全极化数据和 TerraSAR 全极化数据对目标做实验。实验中分别使用四通道 HH, HV, VH, VV 的 SAR 原始图像复数据,做了一系列实验。主要分为以下 2 个部分。

3.1 量化算法对比实验

为了验证本文方法的优势,将提出的量化算法的效果与普及的极化 SAR 处理软件中的 POLSARPRO 的量化效果做了比较,结果如图 2 和 3 所示。



图 2 POLSARPRO 伪彩色图像合成结果

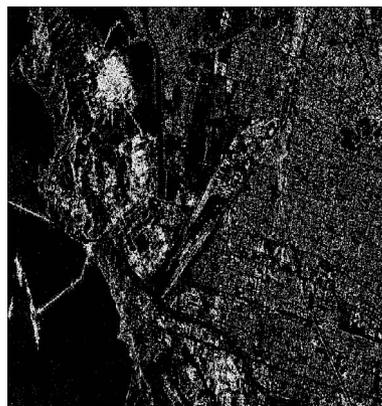


图 3 本文算法伪彩色图像合成结果(不加窗口量化)

图 2 是采用 POLSARPRO 中的对数均衡法处理的图像,图 3 是采用本文提出的量化算法处理的图像。从对比的结果可以看出,采用 POLSARPRO 的方法处理的图像从信噪比上来说比采用本文处理的方法效果要差,这是因为对数量化在放大图像暗处的细节的同时也放大了图像的噪声,原始图像的噪声和信号的比例因为对数量化而加大了,信噪比明显下降。而对原图采用本文所提出的线性量化方法就不会产生信噪比下降的副作用,同时整体效果相比于对数量化方法更加均匀。以下两幅则是局部的对比如图 4 和图 5 所示。

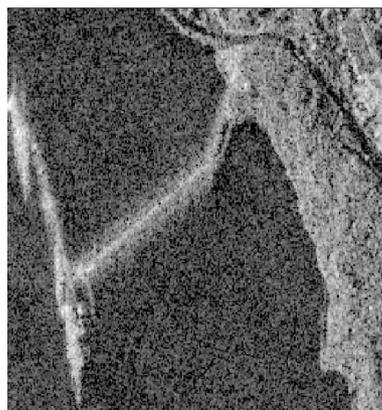


图 4 局部对比图(对数变换量化法)



图5 局部对比图(本文算法)

从图4和5,可以看出局部效果中,本文算法在海面上的噪声确实更小,而对比度也相对于左图更好。

3.2 窗口量化和整体量化方法的对比实验

本实验首先从单通道的灰度图像上比较和验证了窗口量化的效果,然后选择了一个典型的地物场景对其伪彩色合成效果做了比较。

如图6和7是2个不同的场景下采用窗口量化和整体量化得到的局部对比图,均为 TerraSAR 数据,HH 通道。

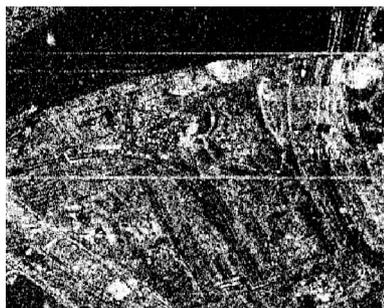


图6 局部场景一效果(加窗)

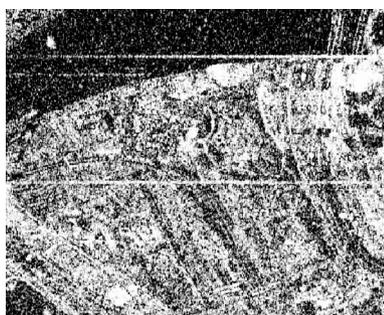


图7 局部场景一效果图(不加窗)

如图8和9所示是典型的城区局部和赛道局部,从单

通道对比图中也可以更加直观地看出采用本文算法的效果,确实提高了图像的对比度,将细节表现得更加利于人眼目视。

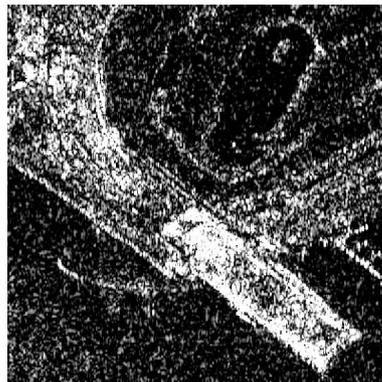


图8 局部场景二效果(加窗)



图9 局部场景二效果图(不加窗)

如图10和图11两幅图是伪彩色合成图中的量化处理方法效果比较图,前一幅图对整体图像进行量化,后一幅图采用 300×300 窗口对图像做量化。

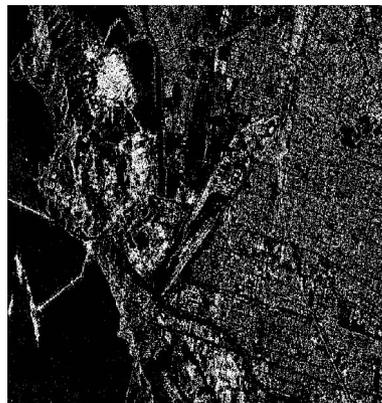


图10 本文算法伪彩色合成图像(不加窗口)



图 11 本文算法伪彩色合成图像(加 300×300 窗口量化)

从上述图像中可以看出,采用 300×300 窗口进行量化能够获得比整体处理更好的对比度。局部的细节呈现了更多的信息。图像相对来说也比较鲜明。以下是对局部城区的放大对比,如图 12 和 13 所示。



图 12 本文算法伪彩色合成图像局部(不加窗口)



图 13 本文算法伪彩色图像合成结果局部
(加 300×300 窗口量化)

这个局部在整体量化中由于其太亮而被处理导致细节信息的展现不是很好,而在窗口量化方法中,高亮度的区域的局部细节则可以被很好地展现出来。对比发现颜色更加鲜明,区分度好,饱和度也有了提高,反映出目标更多的信息。

4 结 论

采用了一种新的基于积分图像的窗口量化方法来量化高分辨率全极化 SAR 图像,通过合理的窗口选取及动

态量化门限确定策略,实现了整幅图像的良好可视化和局部强目标的细节改善。在此基础上进行极化伪彩色合成,能够有效改善图像目视效果。并且由于使用了快速积分图像处理方法,使得算法的效率提高,在计算局部窗口的实时性上也有了保证,可以满足实时显示的要求。

参 考 文 献

- [1] YU L, XU Q, LIANG SH. Study on methods of pseudo-color enhancement and visualization for polarimetric SAR image[Z]. 2012.
- [2] 王超,张红,陈曦,等. 全极化合成孔径雷达图像处理[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [3] ZHOU X D, ZHANG CH H, LI S. A perceptive uniform pseudo-color coding method of SAR images[C]. International Conference on Radar, 2006:1-4.
- [4] 陈少华,韩冰,雷斌. SAR 海冰 MRF 分割精度与图像质量的关系研究[J]. 国外电子测量技术,2013,32(3):31-35.
- [5] GUO R, XING MENG D. Study on Several Problems in Polarimetric SAR. Processing, 2012.
- [6] 雷斌,丁赤飏. 一种基于 SAR 图像视觉特征的改进像素掩蔽方法[J]. 电子测量技术,2014,37(11):37-41.
- [7] YANG J, ZHANG W, CHEN Y, et al. Colorization for polarimetric SAR image based on scattering mechanisms[C]. Congress on Image and Signal Processing, 2008:671-701.
- [8] 姚昆,杨学智,唐益明,等. SAR 海冰的三维区域 MRF 图像分割[J]. 仪器仪表学报,2013,34(11):2551-2557.
- [9] WANG H J, PI Y M, LIU G Q, et al. Application of ICA for the enhancement and classification of polarimetric SAR images[J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(6):1649-1663.
- [10] 鲁小丽,王岩飞,潘卓,等. 基于剪切波变换的 SAR 图像舰船检测[J]. 电子测量技术,2014,37(6):54-58.
- [11] 邓启明,陈亦轮,张卫杰,等. 基于 Poisson 重建的极化 SAR 图像对比增强[J]. 清华大学学报,2008,48(7):1108-1111.

作 者 简 介

张波,1989 年出生,研究生。主要研究方向为极化 SAR 目标解译和可视化。

仇晓兰,1982 年出生,副研究员。主要研究方向为合成孔径雷达、双站 SAR、遥感图像。

尤红建,1969 年出生,研究员。主要研究方向为遥感图像、红外图像处理。

丁赤飏,1969 年出生,研究员。主要研究方向为合成孔径雷达、遥感信息处理和应用系统。