

使用小波分析的图像融合算法*

汤志伟** 王建国 黄顺吉

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

【摘要】 利用小波分析实现 SAR 图像与光学图像的融合和互补性。这种图像融合方法是利用 SAR 图像小波分解后的近似部分和光学图像小波分解后的细节部分,组成一个新的小波分解系数,再进行逆小波变换(重构),即可得到复合的图像,取得了较好的实验效果。

关 键 词 图像的融合; 小波分析; 多尺度分析; 合成孔径雷达

中图分类号 TN941.1

图像融合是数据融合的一个分支^[1],它是将两幅或多幅图像中的信息综合到一幅图像中,使一幅图像能更完整、更精确的体现两幅或多幅图像的信息。实现图像融合的方法主要有统计方法、Dempster-Shafer 方法、RGB-IHS 变换方法、PCA 方法、小波分析、模糊集、神经网络、人工智能和专家系统等等。

本文利用小波分析来实现 SAR 图像和光学图像的融合,达到两者特性的互补目的。文中提出的图像融合方法,是提取 SAR 小波分解后的近似部分和光学图像小波分解后的细节部分,组成一个新的小波分解系数,实现了两者的融合。

合成孔径雷达是一种主动式相干微波遥感系统,和光学遥感系统相比,SAR 图像反映结构信息较好,而且具有全天候、穿透性等优点,较光学传感器具有更大的侦察范围,SAR 的侧视工作方式带给图像的显著优点是图像轮廓比较清楚,因而图像有较好的对比度,并能呈现较多的细节。SAR 图像中目标的微波反射特性受频率、反射角和极化方式的影响,导致相同物体可能出现不同的表现形式。这种图像不为人们所熟悉,若只使用 SAR 图像来进行目标检测和识别是较困难的。光图像以光谱信息为主,是一种较常使用的遥感图像,具有明暗变化,使检测识别相对简单和直接,但是光学传感器大气衰减大且受天气和观测时刻的影响较大,因而 SAR 图像和光学图像融合具有重要意义,利用两者优势的互补可使图像的目标检测和识别变得相对容易,准确率提高。

1 图像的多尺度小波表示

设 $\{V_j\}_{j \in \mathbb{Z}}$ 是给定的多尺度分析, $\varphi(x)$ 和 $\psi(x)$ 为相应的尺度函数和小波函数。

对属于 $L^2(\mathbb{R})$ 的信号 $f(t)$, 设其离散值为 $C^0 = \{C_n^0\}_{n \in \mathbb{Z}}$ 。设 $f \in V_J$ (J 为一确定的整数)。这一假设是合理的,因为传感器记录下来总是具有有限分辨率的信号。则有

$$f = A_J f(x) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} C_k^0 \varphi_{J,k} \quad (1)$$

根据小波变换理论,可以推出^[2,3]

$$f(x) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} C_k^N \varphi_{-N,k} + \sum_{k \in \mathbb{Z}} \sum_{j=1}^N d_k^j \psi_{-j,k} \quad (2)$$

式中 $C_k^j = \sum_{n \in \mathbb{Z}} \bar{h}_{n-2k} C_n^{j-1}$, $d_k^j = \sum_{n \in \mathbb{Z}} \bar{g}_{n-2k} C_n^{j-1}$, $j = 1, 2, \dots, N, k \in \mathbb{Z}$, 这是信号的正交小波分解公式。

利用分解后的小波信号 $\{C_n^j\}$ 和 $\{d_n^j\}$ 还可重构原来的信号 $\{C_n^j\}$ ($j = 1, 2, \dots, N$), 其重构公式为^[2]

$$C_n^{j-1} = \sum_{k \in \mathbb{Z}} h_{k-2n} C_n^j + \sum_{k \in \mathbb{Z}} g_{k-2n} d_n^j \quad j = N, N-1, \dots, 1 \quad (3)$$

1999 年 10 月 4 日收稿

* 国防科工委预研基金资助项目

** 男 30 岁 博士 讲师

对于二维图像, 通过张量积可由上述一维正交小波构造二维正交小波基, 从而得到离散图像 $\{C_{n,m}^0\}_{n,m \in \mathbb{Z}}$ 的多尺度分解和重构公式, 这里设 $\{C_{n,m}^0\}_{n,m \in \mathbb{Z}}$ 属于 V_0^2 , 则有分解公式^[2]

$$\begin{cases} C_{n,m}^j = \frac{1}{2} \sum_{k,l \in \mathbb{Z}} \bar{h}_{k-2n} \bar{h}_{l-2m} C_{k,l}^{j-1} \\ d_{n,m}^{j1} = \frac{1}{2} \sum_{k,l \in \mathbb{Z}} \bar{h}_{k-2n} \bar{g}_{l-2m} C_{k,l}^{j-1} \\ d_{n,m}^{j2} = \frac{1}{2} \sum_{k,l \in \mathbb{Z}} \bar{g}_{k-2n} \bar{h}_{l-2m} C_{k,l}^{j-1} \\ d_{n,m}^{j3} = \frac{1}{2} \sum_{k,l \in \mathbb{Z}} \bar{g}_{k-2n} \bar{g}_{l-2m} C_{k,l}^{j-1} \end{cases} \quad j=1,2,\dots,N; n,m \in \mathbb{Z} \quad (4)$$

与一维信号相同, 有重构公式^[2]

$$C_{n,m}^{j-1} = 2 \left\{ \sum_{k,l \in \mathbb{Z}} [C_{k,l}^j h_{n-2k} h_{m-2l} + d_{k,l}^{j1} h_{n-2k} g_{m-2l} + d_{k,l}^{j2} g_{n-2k} h_{m-2l} + d_{k,l}^{j3} g_{n-2k} g_{m-2l}] \right\} \quad j=1,2,\dots,N; n,m \in \mathbb{Z} \quad (5)$$

2 高低频互补法

由于光学图像和 SAR 图像的不同特性, 可以利用小波变换的多分辨分析来实现 SAR 图像和光学图像的融合, 以实现各自特征的互补。对图像进行小波变换, 可得图像小波分解后的近似部分和小波分解后的细节部分^[4,5]。近似部分由具有低通滤波特性的尺度函数系得到, 反映的是对原图像的逼近, 在幅度上与原图像很相似, 因而可以认为近似部分提取了原图像的幅度信息。细节部分由具有带通滤波特性的小波函数系得到, 反映的是原图像在某种频带上的信息。本文利用 SAR 图像小波分解后的近似部分和光学图像小波分解后的细节部分, 组成一个新的小波分解系数, 然后进行重构, 得到 SAR 图像与光学图像的融合图像, 该方法称为高低频互补法。

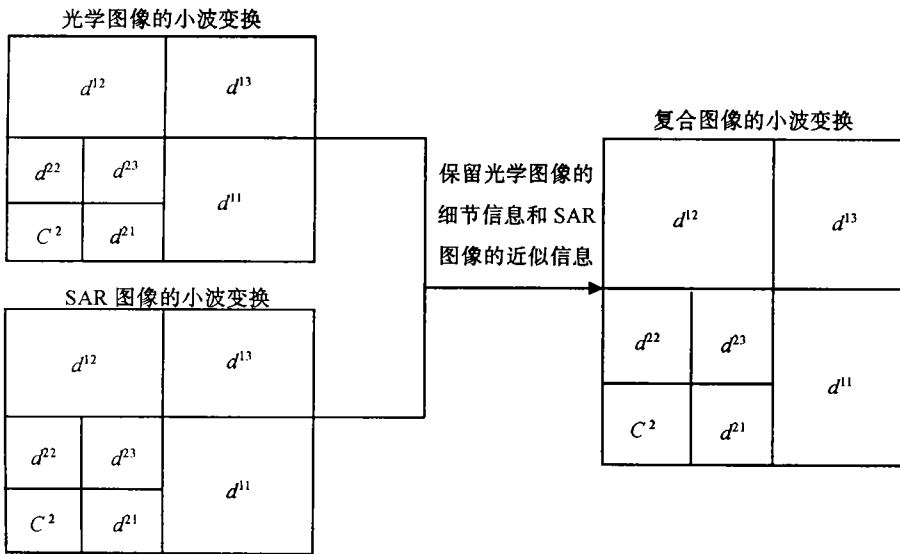


图 1 小波变换复合 SAR 图像和光学图像

高低频互补法的处理过程如下: 由于 SAR 图像与光学图像的成像几何结构不同, 首先要进行 SAR 斜距-地距转换、SAR 数据的插值、SAR 数据的几何变换以及光学数据与 SAR 数据等匹配, 然后对 SAR 图像和光学图像分别进行小波变换分解, 经过如图 1 所示的处理, 提取 SAR 小波分解后的近似部分和光学图像小波分解后的细节部分, 组成一个新的小波分解系数, 然后进行逆小波变换(重构), 即可得到复合的图像。

3 实验结果

根据本文的分析,我们选用图 2 所示的光学图像和图 3 所示的 SAR 图像进行了实验。运用 Daubenchies 长度为 4 的小波,将图像进行小波 2、4 层分解,取代 SAR 的细节部分为光学图像的细节部分,得到如图 4 所示的 2 层分解复合图像与图 5 所示的 4 层分解复合图像。从融合图像显示结果可以看出:在图 2、图 3 中圆状阵列目标(标志 1)模糊不清,而在融合图像图 4 与图 5 中能清晰地显示出来,一些小湖泊(标志 2)在图 2 中未能发现,而在融合图像图 4 与图 5 中能被识别,说明了该方法的有效性。

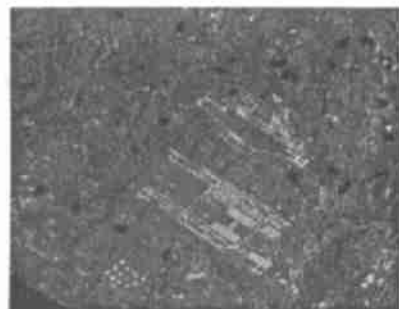


图 2 光学图像

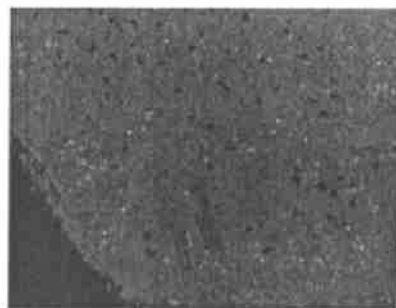


图 3 SAR 原始图像

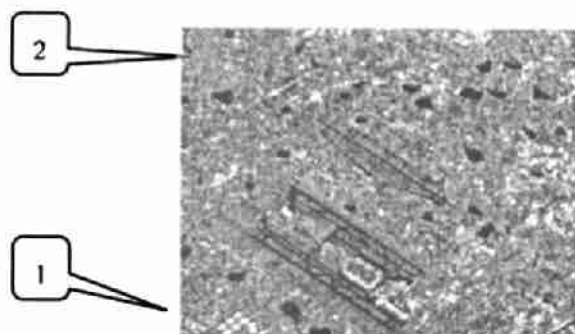


图 4 融合图



图 5 融合图

4 结束语

本文提出了利用 SAR 图像小波分解后的近似部分和光学图像小波分解后的细节部分实现两者的融合的算法,得到了一些有效的结果。

参 考 文 献

- 1 刘通明,夏祖勋,解洪成.数据融合技术及其应用.北京:国防工业出版社,1998
- 2 徐佩霞,孙功宪.小波分析与应用实例.合肥:中国科学技术大学出版社,1996
- 3 向 渝,李在铭.小波变换图像压缩延拓匹配与变换系数研究.电子科技大学学报,1999,28(3): 223~227
- 4 李建平.小波分析与信号处理——理论、应用及其软件实现.重庆:重庆出版社,1997
- 5 秦前清,杨宗凯.实用小波分析.西安:西安电子科技大学出版社,1994

An Image Fusion Algorithm Based on Wavelet Transformation

Tang Zhiwei Wang Jianguo Huang Shunji
(Dept. of Electronic Engineering,UEST of China Chengdu 610054)

Abstract On the basis of the reciprocal characteristic of SAR image and optical image, a wavelet transformation is used to implement fusion of SAR image and optical image.The method of image fusion presented in this paper can get the high frequency information of wavelet transformation of SAR image and detail information of wavelet transformation of optical image, thus composes a new resolving coefficient.

Key words image fusion; wavelet analysis; multi-scale analysis; synthetic aperture radar

· 科研成果介绍 ·

电磁场课程计算机辅助教学(CAI)软件

主研人员：冯 林 杨显清 王 园

电磁场课程计算机辅助教学(CAI)软件是现代化教学手段的主要代表之一，该软件包括了电磁场中的一些重要原理和定理的示范、动态图形模拟及随机习题库，具有图文并茂、操作方便、色彩变化多样，以形象模拟和演示为主的特点。克服了单纯“书本搬家”，具有比较完整的系统性。界面和图形制作精美，习题库部分具有很好的通用性。

程控调谐微波滤波器

主研人员：黄尚锐 王晓军 姚 毅 刘承功 丁文洪 唐 璞

程控调谐微波滤波器是一种机械调谐微波滤波器，它由电机带动，进行同步调谐，调谐范围达到 46.6%，成功地解决了在 46.6%的调谐范围内带宽变化小于 20%的技术难题，远小于法国 TFH701 中同类型滤波器的带宽变化率的实测指标(84.6%)，在整个调谐范围内特性基本保持一致。解决了用空心杯电机调谐带来的功率小及过冲问题。腔体用 8 块板拼装而成，同时解决了泄漏问题。

信号细微特征提取分析技术

主研人员：肖先赐 魏 平 陆明泉 毛国安 朱晓霞 邹月娴 等

信号细微特征提取分析技术包括雷达信号中频数字录取实验模型、雷达信号细微特征分析、通信信号中频数字录取实验模型、通信信号细微特征分析和电子战信号分析软件五方面的内容。采用了一种基于 AR 模型参数估计的模式识别方法来识别雷达个体特征。提出了通信信号细微特征选取的准则，在功率谱、谱相关、高阶谱域中提取通信信号特征，并用神经网络方法进行信号识别。