

## 基于小波变换的改进影像金字塔模型

袁昱纬, 全吉成, 吴婧文, 刘宇, 赵秀影

(空军航空大学 特种专业系, 吉林 长春 130022)

**摘要:** 随着遥感影像数据量不断增长, 为了更加高效地组织与管理海量的遥感影像, 研究并提出了改进的基于小波分解的影像金字塔构建方法。利用多分辨率分析和图像的小波分解与重构算法, 参考影像金字塔构建的一般方法, 将图像小波分解的不同级系数量化、编码后, 分别存储于金字塔的不同层中。该构建方法可以有效地降低金字塔各层之间的数据冗余, 减少总数据量和浏览时的数据流量, 并能更好地支持嵌入式码流和渐进式传输。

**关键词:** 多分辨率分析; 小波分解与重构; 影像金字塔; 海量遥感影像管理

中图分类号: TP75

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2012)11-0183-04

### Improved image pyramid model based on wavelet transform

YUAN Yu-wei, QUAN Ji-cheng, WU Jing-wen, LIU Yu, ZHAO Xiu-ying

(Department of Special Service, Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)

**Abstract:** With the growing volume of the remote sensing image data, in order to more efficiently organize and manage the massive amounts of remote sensing images, a improved image pyramid construction method based on wavelet decomposition has been researched and proposed. Using the multi-resolution analysis, the decomposition and reconstruction algorithm of wavelet, referencing the general way to construct an image pyramid, quantifying and coding the different levels of wavelet decomposition coefficient, respectively stored in different layers of the pyramid. The construction method can effectively reduce the data redundancy in the pyramid between the layers, reducing the total amount of data and browsing data traffic, and having a better support to the embedded code stream and progressive transmission.

**Key words:** Multi-resolution analysis; Wavelet decomposition and reconstruction; Image pyramid; massive Remote sensing image management

随着航空航天遥感技术的不断发展, 遥感数据源的不断丰富, 遥感影像在军事侦察、自然资源调查、城市规划等领域已有了广泛的应用, 然而由于其时间、空间和光谱分辨率的不断提高, 导致数据量呈几何级数增长<sup>[1]</sup>, 海量的遥感影像往往高达数百 GB 甚至数十 TB, 这就对遥感影像的组织与管理提出了更高的要求。

目前, 对于海量遥感影像的管理, 通常采用构建影像金字塔的办法, 以提高影像在浏览和缩放显示时的速度。在构建影像金字塔时, 目前多数采用重采样、预压缩的模式, 即将遥感影像预先压缩成独立的不同分辨率的块状矩阵, 存储在金字塔的不同层中。但是, 这样层与层之间的相关性较大, 存在较高的数据冗余。为了尽可能减少这种数据冗余, 并让海量遥感影像在传输和浏览时更好地支持嵌入式码流和渐进式传输, 提出了基于小波变换的影像的金字塔构建方法。

### 1 遥感影像的小波预处理

小波变换这一概念最早是由法国地球物理学家 Morlet 于 80 年代基于群论首先提出的, 经过科学家、工程师、数学

家们的共同努力, 在多门学科和多种领域得到成功应用。小波变换以其在时域和频域都具有表征信号局部特征的能力以及具有多分辨率分析的特点, 被誉为“数学显微镜”。

#### 1.1 小波变换理论

小波变换的基本思想是将原始信号通过一个小波基在时域上的伸缩和平移以后, 分解成一系列具有不同空间分辨率、不同频率特性和方向特性的子带信号。在实际应用中, 通常需要将原始信号分解为离散叠加的形式, 即求和而不是积分。函数  $f(x)$  在  $L^2(R)$  空间上的离散小波变换定义为:

$$f(x) = \sum_{m,n} C_{m,n} \Psi_{m,n}(x) \quad (1)$$

其中,  $\Psi_{m,n}(x) = |a_0|^{-\frac{m}{2}} \Psi(a_0^{-m}x - nb_0)$ ,  $a = a_0^m$ ,  $b = b_0^m$ 。常用的是二

进小波, 即  $a_0=2$ ,  $b_0=1$ , 此时  $\Psi_{m,n}(x) = 2^{-\frac{m}{2}} \Psi(2^{-m}x - n)$ 。

若  $\Psi_{m,n}(x)$  是规范正交的, 系数  $C_{m,n}$  就可用内积表示成:

$$C_{m,n} = \langle f(x), \Psi_{m,n}(x) \rangle \quad (2)$$

小波变换具有良好的时域和频域局部化特性, 可以分离出原始信号的高频分量和低频分量, 低频分量含有的能量高, 包含图像的整体轮廓, 而高频分量含有的能量较低, 主要显示

收稿日期: 2012-03-26

稿件编号: 201203187

作者简介: 袁昱纬(1988—), 男, 湖南湘潭人, 硕士研究生。研究方向: 信息管理与信息系统。

图像细节和边缘的地方,因此小波变换的主要思想就是尽可能保留低频分量而去除高频分量以达到压缩的效果。而且,对不同频率分量的时域取样步长可调,是一种使用多尺度描述信号的分析方法。小波变换具有图像恢复质量好、压缩率较高、支持嵌入式码流等优点<sup>[1]</sup>。

## 1.2 多分辨率分析与 Mallat 算法

多分辨率分析的主要思想就是在  $L^2(R)$  函数空间内,将  $L^2(R)$  分解为一系列具有不同分辨率的子空间序列,这些子空间序列的极限就是  $L^2(R)$ ,然后将空间  $L^2(R)$  中的函数  $f$  描述为一系列近似函数的极限,也就是说函数可以表示成在空间  $V_j$  里的近似表示  $f_j$  的极限。多分辨率分析的思想用数学语言可以描述为:设  $L^2(R)$  为平方可积函数,  $L^2(R)$  上的一个多分辨率分析是指满足一定条件的闭子空间序列  $V_j, \dots, V_{j+1} \subset V_j \subset V_{j-1} \subset \dots$ , 设  $W_j$  是  $V_j$  在  $V_{j-1}$  上的正交补空间,即  $V_{j-1} = V_j \oplus W_j, V_j \perp W_j$ 。对任意  $f(t) \in L^2(R)$ , 有  $f(t) = \lim_{j \rightarrow \infty} P_j(t)$ , 随着  $j$  的增加,子空间  $V_j$  越来越逼近  $L^2(R)$ ,  $P_j(t)$  也越来越逼近  $f(t)$ ,  $W_j$  包含了从  $j$  层到  $j-1$  层的所有细节信息,对于  $f(t)$ , 有  $g_j \in W_j$

和  $f_k \in V_k$ , 使  $f(t) = \sum_{j \in Z} g_j + \sum_{j \geq Z} f_j$ 。

### 1.2.1 Mallat 算法

在多分辨率分析的理论框架下, Mallat 设计出了基于滤波器组的正交小波分解和重构算法—Mallat 算法,其主要思想就是利用多分辨率分析中空间塔式分解的特性,将计算小波变换系数与信号中的滤波器相结合,构造出的一种简化算法。

根据多分辨率分析理论,对于任意给定的一维数字离散信号  $c_0(n), n=1, 2, \dots, N$ , 在  $k$  级分辨率下,可将  $c_k(n)$  分解成  $j$  尺度空间的尺度系数  $c_k(j)$  和小波系数  $d_k(n)$ , 即  $c_k(n)$  的低频分量和高频分量,其中  $j=1, 2, \dots, \frac{N}{2^k}$ , 从而得到任意尺度空间上的分解。具体分解公式为:

$$c_k(j) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_{k-1}(n)h(n-2j) \quad (3)$$

$$d_k(j) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_{k-1}(n)g(n-2j) \quad (4)$$

其中,  $h(n)$  和  $g(n)$  分别为给定的低通滤波器和高通滤波器的系数。

Mallat 算法的具体分解过程如图 1 所示,把  $c_0$  分解为  $d_1, d_2, \dots, d_k$  和  $c_k$ 。

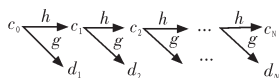


图 1 Mallat 算法分解示意图

Fig. 1 Decomposition diagram of Mallat algorithm

Mallat 算法的重构过程如图 2 所示,其公式为:

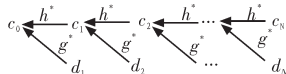


图 2 Mallat 算法重构示意图

Fig. 2 Reconstruction diagram of Mallat algorithm

$$c_{k-1}(j) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n-2j)c_k(n) + \sum_{n=-\infty}^{\infty} g(n-2j)d_k(n) \quad (5)$$

### 1.2.2 二维 Mallat 算法

将 Mallat 算法应用于遥感影像领域,必须将其从一维推广到二维空间。设  $c_j(n_1, n_2)$  为二维图像信号,分解滤波器先对图像进行一次“行”分解,然后再对进行一次“列”分解,这样就完成了对图像信号的一次分解,每次分解产生 4 个子带  $c_{j+1}$ 、 $d_{j+1}^h$ 、 $d_{j+1}^v$  和  $d_{j+1}^d$ , 下一级分解是在前一级产生的低通滤波信号  $c_{j+1}$  的基础上进行的<sup>[2]</sup>。二维 Mallat 算法的分解和重构过程如图 3 所示,其中  $\downarrow 2$  表示每两行或两列中取出一列。

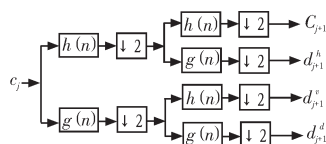


图 3 Mallat 算法二维小波变换分解示意图

Fig. 3 Dimensional wavelet transform decomposition diagram of Mallat algorithm

二维 Mallat 分解算法算法如下:

$$c_{j+1}(n_1, n_2) = \sum_{k_1} \sum_{k_2} h(2n_1-k_1)h(2n_2-k_2)c_j(k_1, k_2) \quad (6)$$

$$\begin{cases} d_{j+1}^h(n_1, n_2) = \sum_{k_1} \sum_{k_2} h(2n_1-k_1)g(2n_2-k_2)c_j(k_1, k_2) \\ d_{j+1}^v(n_1, n_2) = \sum_{k_1} \sum_{k_2} g(2n_1-k_1)h(2n_2-k_2)c_j(k_1, k_2) \\ d_{j+1}^d(n_1, n_2) = \sum_{k_1} \sum_{k_2} g(2n_1-k_1)g(2n_2-k_2)c_j(k_1, k_2) \end{cases} \quad (7)$$

其中,  $h(n)$  和  $g(n)$  分别为给定的低通滤波器和高通滤波器的系数。在每一尺度下,  $c_j$  包含此次分解的低频信息,而  $d_j^h, d_j^v, d_j^d$  分别包含此次分解的水平、垂直和对角方向的边缘细节信息。

对于  $N \times N$  像素的图像,最多可以分解  $J$  次,  $J \leq [\log_2 N]$  取整。

用类似于分解的思路不难推出重建过程,这里不再详述。

### 1.3 图像的小波分解

根据二维 Mallat 算法,以原始图像为初始值,先对图像的每一行进行小波变换,得到 H 和 L 两个部分,然后再对得到图像的每一列再进行一次小波变换,这样经过一层小波变换后,图像分解为 4 个子带。每级分解得到的 4 个子带图像,分别对应频率平面上不同的区域,它们分别含有上一级图像总的低频信息和垂直、水平及对角线方向的信息。从多分辨率分析出发,一般每次只对上一级的低频子图像进行再分解<sup>[4]</sup>,如图 4 所示,其中 LL 为低频子带,包含原始图像的基本内容,HL、LH、HH 为高频子带,包含图像在水平、垂直和对角线方向的边缘、纹理和轮廓等信息。图 5 为原始遥感影像,图 6 是对源图像进行 1、2 级小波分解得到的图像<sup>[5]</sup>(这里采用 Daubechies 小波所对应的滤波器 db4)。

## 2 影像金字塔模型

为了实现海量遥感影像的实时缩放显示,快速获得多分

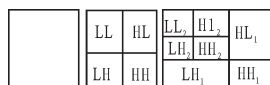


图4 小波分解示意图

Fig. 4 Wavelet decomposition diagram



图5 原始遥感影像

Fig. 5 The original remote sensing image

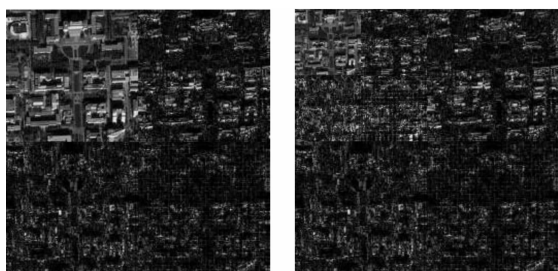


图6 原始遥感影像1、2级小波分解

Fig. 6 1, 2-level wavelet decomposition of remote sensing image

分辨率的影像,需要对各分辨率的影像进行有效的组织管理。影像金字塔是一种用多分辨率来构建大幅图像的有效而简单的空间层次结构。通过对原始遥感影像生成多分辨率影像金字塔,根据不同的显示需求,调用不同分辨率的影像,来实现由粗到精、由整体到局部的影像漫游、浏览。

影像金字塔构建的一般方法是把原始数据作为金字塔的最底层,对其进行分块,一般分为像素的块状矩阵,定义为第0层块状矩阵。在第0层的基础上,依次遍历相邻的4个影像块,并对4个影像块拼接后重采样,建立起一系列分辨率只有第0层一半的影像,形成第1层块状矩阵,但整个画幅的范围保持不变。再在第1层的基础上采用同样的方法生成第2层块状矩阵,如图7所示。如此下去,生成影像的第2、3、...层,直至最终建立的影像数据层分辨率满足要求,构成整个影像金字塔<sup>[9]</sup>。

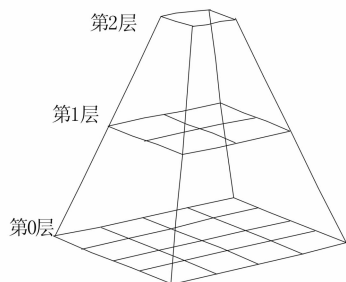


图7 影像金字塔

Fig. 7 Image pyramid structure

对海量遥感影像采用多分辨率影像金字塔的结构来组织与管理数据,在进行缩放操作时,通过调用不同金字塔级别,可以实现进行无缝切换<sup>[7]</sup>。从金字塔的底层到顶层,分辨率越来越低,高层的数据往往用于大范围宏观的显示,数据量较少;低层的数据则用于局部地区的细节显示,分辨率较高,数据量大。

从理论上讲,这样创建影像金字塔模型会增加大约 1/3 的数据存储空间,对于大数据量,特别是千兆以上的数据,数据读取和传输的效率确实有显著的提高。

但是,这样将遥感影像预先压缩成独立的不同分辨率块状矩阵,存储在金字塔的不同层中,会造成不同层与层之间相关性较高,存在一定的数据冗余。另外,由于层与层之间不用分辨率的影像块是相互独立的,在缩放显示时只能根据需要调用不同层的数据,缩放显示是离散的,无法实现连续的缩放浏览。同时,也很难支持嵌入式码流,支持渐进式传输。

### 3 改进的影像金字塔模型

为了减少由整体到局部的影像漫游、浏览时的数据量,同时支持嵌入式码流和多分辨率的渐进传输,实现连续缩放浏览,这里将小波变换引入影响金字塔的构建。

首先根据原始遥感影像数据的空间分辨率,确定影像金字塔的总层数  $J$ , 然后对原始遥感影像进行分块,并对这些块状矩阵分别进行小波分解,得到这些块状矩阵的第1级低频子带  $LL_1$  和高频子带  $HL_1$ 、 $LH_1$ 、 $HH_1$ , 将其中的  $HL_1$ 、 $LH_1$  和  $HH_1$  高频子带量化、编码,存储于第0层中,再对第1级低频子带  $LL_1$  进行第2级小波分解,得到第2级低频子带  $LL_2$  和高频子带  $LH_2$ 、 $LH_2$ 、 $HH_2$ , 将其中的  $LH_2$ 、 $HL_2$  和  $HH_2$  高频子带编码,存储于第1层中,然后小波分解第2级低频子带  $LL_2$ , 如此下去,直至第  $J$  层,构成整个影像金字塔。最后,第  $J$  层中存储第  $J$  次小波分解的低频子带  $LL_J$ , 如图8所示。

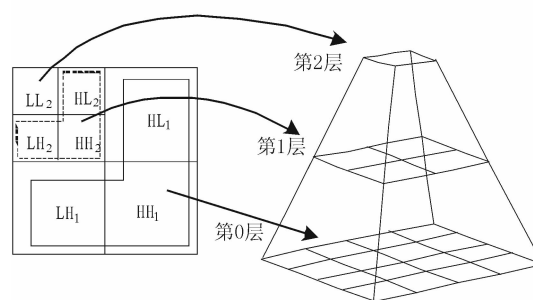


图8 改进的影像金字塔结构示意图

Fig. 8 Improved image pyramid structure diagram

这样构建遥感影像金字塔,可以有效降低金字塔各层之间的数据冗余,减少了数据量。

在由整体到局部对影像进行漫游、浏览时,根据需要,依次读取从当前层开始到需要层的小波系数,对影像进行恢复。由于重构高分辨率影像时,只需要传输需要的高频子带,并可以利用已有的低分辨率影像数据(低频子带),降低了传输的数据流量。改进的影像金字塔构建方法传统的构建方



法对比如表 1 所示。

表 1 两种影像金字塔构建方法对比  
Tab. 1 Difference between two kinds of image pyramid construction method

	传统的影像金字塔构建方法	改进的影像金字塔构建方法
总数据量 (设原始影像数据量为 100%)	133.301%	100.008%
传输的数据量 (从第 3 层到第 2 层浏览, 设第 3 层数据量为 100%)	398.91%	123.22%
影像重构耗时 (从第 3 层到第 2 层浏览, 第 3 层为 256 × 256 像素)	0.62S	0.51S

由于用户浏览时,可由影像金字塔高层开始传输,先传输包含低频子带的高层,也就是影像主要内容信息,再传输包含高频子带的低层,也就是图像的边缘、轮廓等细节信息,这样可以更好地支持嵌入式码流和多分辨率渐进式传输。

## 4 结 论

为了高效地管理海量遥感影像,在浏览时快速获得不同分辨率的影像,通常需要构建影像金字塔。与传统的影像金字塔构建方法相比,本文将多分辨率分析与图像的小波分解引入影像金字塔的构建,有效地降低了金字塔各层之间的数据冗余,减少了总数据量和浏览时的数据流量,并能更好地支持嵌入式码流和渐进式传输。本文的影像金字塔构建方法为海量遥感影像的实时快速浏览和网络发布提供了保障,也

为构建更加高效的数字地球平台打下了基础。

## 参考文献:

- [1] 张畅,刘强,戴昌礼,等. 大规模影像数据库的设计与实现[J]. 测绘科学,2010,35(3):208-209  
ZHANG Chang, LIU Qiang, DAI Chang-li, et al, The design and implementation of large-scale imagery database[J]. Science of Surveying and Mapping,2010,35(3):208-209.
- [2] 张兰. 基于小波变换的遥感影像压缩技术研究[D]. 成都:电子科技大学,2008.
- [3] 刘晓燕. 基于小波变换的图像压缩编码算法研究[D]. 成都:西南交通大学,2009.
- [4] 沈兰荪. 小波编码与网络视频传输[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [5] 王家文. Matlab 7.6 图形图像处理[M]. 北京:国防工业出版社,2009.
- [6] 黄杰,刘仁义,刘南,等. 海量遥感影像管理与可视化系统的研究与实现[J]. 浙江大学学报:理学版,2008,35(6):701-706.  
HUANG Jie, LIU Ren-yi, LIU Nan, et al. An management and visualization system for massive remote sensing image: research and implementation[J]. Journal of Zhejiang University: Science Edition,2008,35(6): 701-706.
- [7] 李忠,杜绪奎,李梅. 遥感影像数据库设计与实现[J]. 测绘与空间地理信息,2008,31(3):43-45.  
LI Zhong, DU Xu-kui, LI Mei. Design and implementation of remote sensing image database[J]. Geometrics & Spatial Information Technology,2008,31(3):43-45.

## IR 推出车用 600 V IC AUIRS2334S 适合三相变频电机驱动应用

全球功率半导体和管理方案领导厂商——国际整流器公司(International Rectifier,IR) 宣布推出车用 600 V IC AUIRS2334S,适合包括高压压缩机(HVAC)和风扇在内的三相变频电机驱动应用。

AUIRS2334S 具备一个先进的输入滤波器,从而提升器件处理信号的输入/输出脉冲的对称性。其他重要功能还包括固定死区时间的集成保护电路、击穿保护电路,以及在 VCC 低侧和所有 VBS 高侧浮动电源上的欠压锁定保护。该器件并具有负瞬变安全操作区(NTSOA),因而可以充分应对在正常操作和保护模式下可能出现的负瞬变的情况。

新器件采用专有的 HVIC 和锁存免疫 CMOS 技术,可以加固整体单片式结构。逻辑输入与 CMOS 或 LSTTL 输出相兼容,低至 3.3 V。输出驱动器具有一个针对最小驱动跨导而设的高脉冲电流缓冲级。传播延迟相互匹配,从而简化了高频应用中的使用。浮动通道则可被用来驱动高达 600 V 高侧配置中的 N 沟道功率 MOSFET 或 IGBT。

所有 IR 汽车级 IC 产品都遵循 IR 要求零缺陷的汽车质量理念,并经过了动态和静态器件平均测试及 100%自动晶圆级目视检查。新器件符合 AEC-Q100 标准,采用的物料清单环保、不含铅,并符合电子产品有害物质管制规定(RoHS)。

国际整流器公司(简称 IR,纽约证交所代号 IRF)是全球功率半导体和管理方案领导厂商。IR 的模拟及混合信号集成电路、先进电路器件、集成功率系统和器件广泛应用于驱动高性能计算设备及降低电机的能耗(电机是全球最大耗能设备),是众多国际知名厂商开发下一代计算机、节能电器、照明设备、汽车、卫星系统、宇航及国防系统的电源管理基准。

咨询编号:2012111007