

Marr 方法在多波段遥感影像 边缘信息分析中的应用

吴乐茂¹ 舒 宁¹

(1 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘 要: 简要介绍了 Marr 理论的基本框架, 并详细介绍了 Marr-Hildreth 边缘检测理论的基本原理, 同时给出了 LOG 模板算子实例。在此基础上, 提出这一理论用于多波段影像边缘分析的几种不同的方法, 指出了本文所采取方法的原理和算法流程。试验结果的分析对比说明, 多波段影像分析的效果优于单波段。

关键词: Marr 理论; 边缘检测; 多波段图像处理; LOG 滤波

中图分类号: P237.9; TP751

1 Marr 理论概述

Marr 方法的视觉计算理论立足于计算科学, 系统地概括了心理物理学、神经生理学、临床神经病学等方面已取得的所有重要成果, 是视觉研究中迄今为止最为完善的视觉理论。这个理论具有鲜明的时代特征, 它的发展使计算机视觉研究有了一个比较明确的体系, 并推动了计算机视觉研究的发展。

1.1 计算方法

Marr 方法认为, 视觉是一种复杂的信息处理任务, 其目的是要把握外部世界各种有用的情况, 并把它们表达出来。这种任务的特点是视觉信息处理必须在若干不同的层次上加以理解, 各个层次基本上是独立的。把视觉信息处理划分成 3 个不同的层次来描述: ① 计算理论; ② 算法; ③ 实现机制。视觉信息处理必须分析给定的信息处理任务, 而基础则是客观的物质世界。用公式表示计算理论关键性的一个步骤就是要找出视觉世界的特性, 给计算问题加上约束条件, 使其含义明确, 能够理解。

1.2 关于人的视觉功能模块分析

Marr 方法从信息处理的观点出发, 能用公式把视觉处理的整个理论框架表现出来。这个框架

主要由视觉处理所建立、保持并予以解释的可见世界的三级表象结构组成: ① 要素图。由于图像的光强度变化可能与物体边界这类具体的物理性质有关, 因此它主要描述图像的光强度变化及其局部的几何结构。② 2.5 维图。以观察者为中心, 描述可见表面的朝向、轮廓线、深度及其他性质。③ 三维模型表象。以物体为中心, 用来处理和识别三维物体的三维形状表象。

1.3 强度变化的检测

视觉处理第一阶段的目的是检测观察者周围物体表面反射率的变化, 或检测观察者和表面之间的距离和朝向的变化。在自然图像中, 强度变化的空间尺度可能很宽, 因此, 要对它作最佳检测就得采用几个大小不同的算子(即滤波器)。强度变化(如边缘)和图像的一阶导数的极值或二阶导数的零值相对应。Marr 和 Hildreth 认为, 期望的滤波器应能以一定的尺度对图像作二阶导数运算, 而用高斯分布函数作图像平滑以后再进行二阶导数运算就能达到这一要求。

2 Marr 方法在遥感影像处理中的应用

2.1 Marr-Hildreth 边缘检测基本原理

图像中存在的灰度变化可能发生在在一个较宽

的尺度范围内。图像中的大多数边缘是尖锐的边缘,也就是说,在为数不多的像元范围内,灰度有了较明显的变化。这类边缘常常对应景物中目标的边界线等。另外,有一些边缘对应景物中指向不连续的表面,这类边缘是模糊的,灰度变化发生在为数较多的像元范围内,这些不同的灰度变化都同时出现在一幅图像上。显然,利用单一固定的算子不可能同时最佳地检测出发生在不同尺度范围上的灰度变化。

Marr-Hildreth 的理论是:首先在一定范围内作平滑滤波,然后再检测发生在相应尺度上的边缘。通过采用一组滤波器,可以分别检测出小范围内的灰度变化和大范围内的模糊边缘。这里需要解决两个问题,即选择什么样的滤波器作平滑和选择什么样的差分算子来检测边缘。

当考虑用较大尺寸算子时,如 11×11 、 35×35 或 50×50 ,就需要认真考虑平滑滤波器的形状。这个形状受两个因素的限制:①因为观察景物中心的变化一般都要在空间上定位,所以滤波器在空间上要平稳,空间位置误差要小(以 Δx 表示空间位置误差);②平滑滤波器本身是一个带通滤波器,这个通带限制了灰度变化的范围,自然也要求滤波器在这个有限通带内也是平稳的,即 $\Delta\omega$ (频率误差)要求较小。然而,这两个分别来自空间域和频率域的要求是相互冲突的。由信号理论对 Δx 、 $\Delta\omega$ 的描述有:

$$\Delta x \cdot \Delta\omega \geq \frac{1}{4}\pi$$

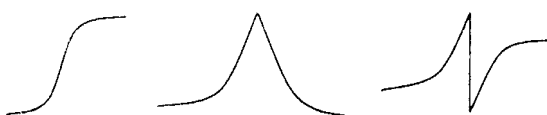
最佳滤波器的选择就是要最佳化这个关系。由于高斯函数具有旋转对称性的特点,即滤波器在各个方向上的平滑程度是相同的,一般说来,一

幅图像的边缘方向事先是不知道的,因此,在滤波前是无法确定一个方向上比另一方向上需要更多的平滑,旋转对称性意味着高斯平滑滤波器在后续边缘检测中不会偏向任一方向。因此,当取高斯滤波器时恰使其在空间域和频率域达到最佳,故选用高斯滤波器。二维高斯函数为:

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(x^2 + y^2)\right]$$

式中, σ 为空间分布系数,又称空间尺度因子。

由图 1 可知,一阶导数和二阶导数都可以检测出边缘来,所不同的是,用一阶导数认为最大值对应边缘位置(如图 1(b)所示),即采用像 $\frac{\partial}{\partial x}$ 或 $\frac{\partial}{\partial y}$ 的一阶导数时,必须沿每个朝向找出它们的峰值,而且对一阶差分通常要设置一个幅度门限,检测出较多的边缘,再经细化抽取骨架,找出接近真实意义的边缘。采用二阶差分算子的最大优点是可以节省计算量,当使用像 $\frac{\partial^2}{\partial x^2}$ 或 $\frac{\partial^2}{\partial y^2}$ 的二阶方向导数时,强度的变化将对应于该算子的零交叉位置(如图 1(c)所示)。但是这些算子都具有一个共同的缺点,那就是它们具有方向性,即与朝向有关,如图 2 所示。



(a) 灰度变化 (b) (a)的一阶导数 (c) (a)的二阶导数

图 1 图像的一、二阶导数示意图

Fig. 1 The Changes of Image Gray Level and Their First and Second Order of Derivatives

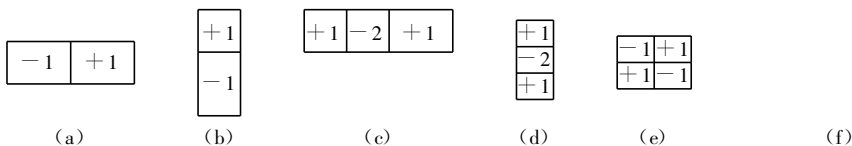


图 2 低阶微分算子的空间结构

Fig. 2 The Spatial Structure of Differential Operators

使用二阶导数所涉及到的问题甚至比使用一阶导数更严重。避免这些额外计算负担的惟一方法,就是设法选一个与朝向无关的算子。最低阶各向同性的微分算子就是拉普拉斯算子,其结构如图 3 所示。

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

图 3 拉普拉斯算子结构

Fig. 3 The Structure of Laplacian Operator

当拉普拉斯算子输出出现零点时,就表明有边缘存在,其中忽略无意义的过零点(均匀零区)。所以,在实践中找出图像中以任一给定尺度发生强度变化最恰当的方法就是:先用算子 $\nabla^2 G$ 对图像进行滤波,再在滤波处理后得到的图像中确定零交叉的位置($\nabla^2 G$ 中的 ∇^2 表示 $\frac{\partial^2}{\partial x^2}$ 或 $\frac{\partial^2}{\partial y^2}$, G 为高斯函数)。在用 $\nabla^2 G$ 滤波后的图像中,数值有正有负,但它们的总平均值为零,零交叉标记了在

由高斯函数所确定的特定尺度下的强度变化。

2.2 对 TM 图像处理的具体实现

TM 图像的处理过程包括两个环节：①利用高斯滤波器给图像进行低通滤波，这是一种去除噪声性质的平滑作用。②进行拉普拉斯二阶微分运算，对平滑过的图像进行边缘分析处理。算法的实现过程有两种思路。

1) 先进行高斯滤波，再进行二阶差分运算。进行高斯滤波时，要用到高斯函数，将其离散化为一模板算子，再利用这一模板对图像进行卷积运算，就可以平滑图像，去除噪声。紧接着，使用拉普拉斯算子对此平滑图像进行二阶差分运算，提取零交叉。

2) 将高斯平滑与拉普拉斯运算结合成一个算子，对图像进行卷积，即通常所称的 LOG 滤波。此时图像数据只需一次读取和一次处理即可得出结果，而方案 1) 需多进行一次图像数据保存、一次数据读取和一次处理，因此方案 2) 较方案 1) 节省了 1/2 的时空效率，为较佳方案。本文采用方案 2)。

LOG 模板建立时，采用的关系式为：

$$\text{LOG}(x, y, \sigma) = A(1 - k \frac{r^2}{\sigma^2})e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}$$

式中， r 为从中心像元计算的距离； σ 为空间分布系数； k 选择使得整个模板上各数值总和几乎接近于零； A 的选择则使模板的各值均能取整数。本文根据此原则构造了 3 个 11×11 的模板(本文仅用此作试验，并未验证其效果如何)，它们的 σ 值分别为 1.4、5.0 和 10.0。例如，模板 1($\sigma=1.4$)如图 4 所示。

0	0	0	-1	-1	-2	-1	-1	0	0	0
0	0	-2	-4	-8	-9	-8	-4	-2	0	0
0	-2	-7	-15	-22	-23	-22	-15	-7	-2	0
-1	-4	-15	-24	-14	-1	-14	-24	-15	-4	-1
-1	-8	-22	-14	52	103	52	-14	-22	-8	-1
-2	-9	-23	-1	103	178	103	-1	-23	-9	-2
-1	-8	-22	-14	52	103	52	-14	-22	-8	-1
-1	-4	-15	-24	-14	-1	-14	-24	-15	-4	-1
0	-2	-7	-15	-22	-23	-22	-15	-7	-2	0
0	0	-2	-4	-8	-9	-8	-4	-2	0	0
0	0	0	-1	-1	-2	-1	-1	0	0	0

图 4 模板 1

Fig.4 Template 1

从模板的数据情况可依稀看到它们都呈墨西哥草帽的造型。另外，观察这些数据还可以看出，模板的正系数和与负系数和的绝对值相等，即系数和为零。运用这样的模板对图像进行卷积运算

就可以得到零交叉图。

对于 LOG 滤波提取边缘，采用多尺度的方案是一个使人颇感兴趣的做法。人类的视觉本身就是建立在多尺度表达的基础上，人们对于眼前视觉中的场景和物体，先采取一个关于“粗”情节的理解，而后在得到关注目标时，再对场景中的局部区域进行“细”情节的理解。可以认为，使用 LOG 滤波器可以达到多尺度提取边缘的目的，因为 LOG 滤波器的通带宽度受限于空间分布系数 σ ，选取不同的 σ 值进行 LOG 滤波并求得不同情况下的零交叉，就可以获得不同尺度下的边缘。

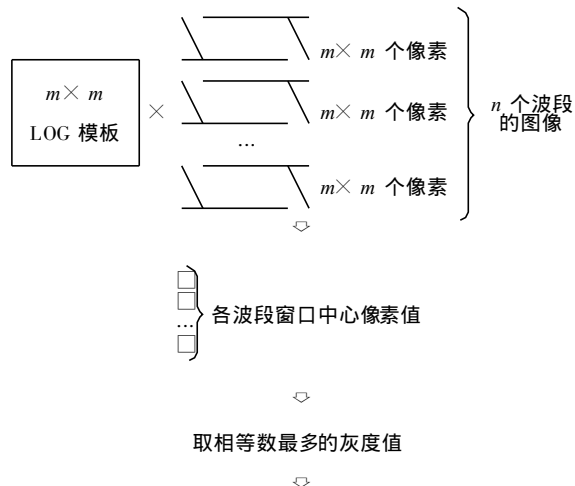
利用 Marr 方法进行多波段遥感影像的边缘信息分析，是将计算机视觉理论引入到遥感图像处理领域中的一种尝试。这里着重讨论多波段影像处理方法。由于多波段影像的处理结果离不开各波段影像的地物信息，因此可以先用上述的单波段处理方法，分别对各个波段的图像进行单独处理，从而得到 n 个边缘图；接着利用多波段影像融合技术，得到融合后的多光谱遥感影像边缘图。还有一种思路是，先由原有的 n 个单波段影像原图进行影像融合处理，得到一幅融合影像或选取信息最丰富的波段，在此基础上再利用 LOG 算子进行卷积运算，提取零交叉边缘图。如果直接利用多波段信息，也可以将 LOG 算子模板中的数值作为加权值，对影像各点处的多波段数据进行矢量加权，并对所得结果求矢量的模，若其小于某阈值即为边缘点。本文采用另外一种算法，其基本步骤类似于单波段处理，不同之处在于，对多个波段图像进行卷积运算时，必须同时获取同一坐标行列号处的各图像像素灰度值构成 n 维灰度向量(假设有 n 个波段)，然后再利用模板进行卷积运算(假设模板大小为 $m \times m$)，一次循环结果即可得到 n 个波段图像在此坐标处的像素的灰度值。统计各灰度值的像素个数，取像素个数最多的值为该位置像素的灰度值。也就是说，当多数波段图像上的检测结果认为是边缘点时，才将这一点确定为边缘点。如此循环处理就可以得到多波段处理结果。在选取各波段图像的像素灰度值构成多波段图像边缘点时，本文选用的就是这种方法。另外，在确定边缘像素灰度值时还可以采用将各个像素的灰度值进行相加后，再取它们的平均值，用此平均值作为输出边缘图的边缘点灰度值。如图 5 所示。

3 试验结果及结论

本次试验中应用到的原始图像见图 6，其统

计数据见表 1。

分别以 $\sigma=1.4, 5.0, 10.0$ 对 TM5 单波段图像进行处理, 其结果如图 7、8、9 所示。



以此灰度值作为该像素值, 进行以后的标记、提取边缘等工作

图 5 多波段图像边缘检测算法示意图

Fig. 5 The Draft of Algorithm for Edge Detection Using Multi-ban Image

表 1 原始 TM 图像统计数据

Tab. 1 Statistic Data of Raw Image of TM

项目	灰度平均值	标准偏差	中间值	像素数
TM1	87.66	14.93	86	262 144
TM2	36.27	5.41	36	262 144
TM3	21.63	13.27	17	262 144
TM4	39.22	24.55	41	262 144
TM5	45.15	33.62	51	262 144
TM7	27.41	17.16	29	262 144



图 6 TM5 原始图像

Fig. 6 Original Image of TM5

行滤波, 所得的灰度分布有正有负, 并以零为临界。因此, 为提取出其零交叉图, 可以采取如下措施: 凡灰度值大于零的赋为白色 (255), 灰度值小于零的赋为黑色 (0), 先得到一幅二值图像, 然后再对二值图像进行边界抽出处理。边界抽出计算有四邻域法、八邻域法、全图检测法等 3 种简单的方法, 本文采用四邻域法。通过以上过程, 就可以得到最终所需的图像边缘图, 采用不同 σ 值的模板其边缘图出现了不同的表现形式。



图 7 $\sigma=1.4$ 时的边缘分析图

Fig. 7 The Edge Analysis when $\sigma=1.4$



图 8 $\sigma=5.0$ 时的边缘分析图

Fig. 8 The Edge Analysis when $\sigma=5.0$

对比图 7、图 8、图 9, 可以看出一些图像细节的变化。当 $\sigma=1.4$ 时, 图像边缘提取得最细, 许多细节的边缘均得到了有效的提取, 从而有利于对图像进行较为详细的解析, 但也给只需宏观信息的图像应用造成了一些干扰信息。当 σ 为

在试验过程中可以看到, 利用 LOG 滤波器进



图9 $\sigma=10.0$ 的边缘分析图

Fig. 9 The Edge Analysis when $\sigma=10.0$

5.0、10.0时,从图中可以看出提取的效果也就越显得“粗”了,此时只能得到原始图像中较为明显的地物、地貌边界,而一些细节部分被省略了。

现在结合结果图进行具体分析。观察图中的机场可发现, $\sigma=1.4$ 时的图像上机场的轮廓较清晰,能清楚地看到它的形状,可以比较容易地进行判读。但随着 σ 值逐渐变大,其边界及细节越来越不明显,越来越少,直至消失。纵观全图也可以看出这种变化。这是因为,当 σ 较小时,由于滤波器的通带较宽,因此图像中的许多细节部位均能顺利通过滤波器得以表现出来,因而也就显得“细”了。反之, σ 值较大时,由于通带较窄,图中的情节要“粗”得多。

采用 $\sigma=1.4$ 的模板对TM4、TM5、TM7进行多波段处理的边缘图如图10所示。

纵观整幅图像,信息量丰富、边缘明显、细节表达恰当,其处理结果明显比单波段处理结果好。在图中的左上部分,河流、农田等边界都相当明显,不产生干扰现象,较之单波段情况,判别地物、地貌更为准确,显示粗细程度更为恰当。图中的机场部分以目视的方式就可以很容易地判断出,此时机场轮廓明显,无大变形且表达十分清楚;而单波段处理时,如无先验知识,则很难判断出其具体为何物。产生这种结果的主要原因是,多波段处理时,由于各个不同波段的信息差异,表现主体信息各不相同,几个表现重点不同的单波段图像

同时处理合成一幅结果图像,使得信息互补,因此所得的结果要明显好于单波段处理结果。



图10 多光谱影像边缘图

Fig. 10 The Multi-image Edge

以上讨论了利用Marr方法对多光谱影像处理的具体实现过程及结果评析,对Marr理论在遥感图像处理中的应用进行了初步探讨,主要研究如何利用多光谱信息提取边缘,至于其他问题如LOG算子尺寸、Marr方法与其他方法的比较等,本文不作讨论。目前国内外还较少进行此项工作,对Marr方法的研究主要集中于在机器视觉中的应用。因此,对以下问题还有待进一步研究:①Marr方法进行图像处理的快速算法实现;②多波段处理的更有效方法;③具体图像处理时的最佳 σ 值选取;④Marr理论其他方法的应用。

参 考 文 献

- 1 贾云得. 机器视觉. 北京: 科学出版社, 2000
- 2 Marr D. 视觉计算理论. 北京: 科学出版社, 1988
- 3 李介谷. 计算机视觉的实践和基础. 上海: 上海交通大学出版社, 1991
- 4 王润生. 图像理解. 长沙: 国防科技大学出版社, 1995
- 5 孙家炳, 舒宁, 关泽群. 遥感原理、方法和应用. 北京: 测绘出版社, 1997
- 6 李友兰, 万振凯. Visual Basic 6 图像处理开发与实例. 北京: 电子工业出版社, 2000

作者简介: 吴乐茂, 硕士生, 现从事图像处理研究。

E-mail: wulemao@sina.com

The Marr Approach in Edge Information Analysis for Multispectral Remote Sensed Imagery

WU Lemao¹ SHU Ning¹

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China 430079)

Abstract: This paper proposes an approach to edge analysis of multi-band image using Marr's method, on the basis of the introductions of Marr theory and the principles of edge detection proposed by Marr and Hildreth. As to Marr theory, this paper describes its frame structure with a few words in order to let the readers have a whole concept to it. Then the principles of edge detection proposed by Marr-Hildreth is analyzed by dividing into two parts, which are how to select the smooth filter and why the Laplacian operator is valid. They show that after using the Gauss smooth filter, the edge of the image can be detected well with the Laplacian operator. LOG operator is the integration of the two parts. On this base, the paper emphasizes on exploring the valid approaches for multi-band remote sensing image(TM image). Some ways are pointed out in the paper, such as weighted vector summation, optimal band selection, etc. But the approach used in the experiments is dependent upon the number of "cross-point" using LOG operator for each band respectively. In details, we can use LOG operator to process every band image to get "cross-point" edge, and then use a detection method to select the gray of the final edge image, which can describe the best information of the multi-band image, namely how to decide the most appropriate edge gray, which comes from every band. The results of the experiments include the edge image of each band with different σ and the edge image of the multi-band image. The experiments using TM image show the better effect of multi-band image analysis.

Key words: Marr theory; edge detection; multi-band image analysis; LOG operator

About the author: Wu Lemao, master candidate. His current work interest is image processing.

E-mail: wulemao@sina.com

本 刊 信 息

据中国科技信息研究所统计,本刊 1999 年影响因子为 0.611,在全国所有收录的 2 648 种科技期刊中排名第 70 位,首次进入百名表。被引频次为 176,在测绘期刊中排名第 1。