

基于数据场聚类的遥感影像分类方法研究

陶建斌,舒宁,沈照庆

(武汉大学遥感信息工程学院,武汉 430079)

摘要: 将数据场聚类方法引入到遥感影像分类中,将数据集映射到光谱空间,让光谱点对聚类的贡献通过势能充分表现出来。通过特征空间的建立、势能的计算及势能图像的分割等步骤实现了对遥感影像的分类,并讨论了辐射因子及辐射半径等对聚类的影响。

关键词: 数据场; 聚类; 遥感影像; 分类

中图分类号: TP 75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2008)03-0020-04

0 引言

场的概念最早是1837年由英国物理学家法拉第提出的。他认为物体间的非接触相互作用的发生,如万有引力、带电体间的静电力以及磁铁间的磁力等,都必须通过某种中间媒质的传递才能实现,而这种传递相互作用的媒质就是场^[1]。随着场论思想的发展,人们将其抽象为一个数学概念。李德毅发展了场的概念,提出数据场思想,并将数据场理论用于数据挖掘和知识发现,提出了一系列基于数据场理论的模型。数据场理论最初应用于数据挖掘和知识发现领域,现在被逐渐引入到影像处理和分析中来。而在遥感影像处理中,应用数据场理论的研究还比较少。

本文尝试将数据场聚类方法用于遥感影像的分类中。基于数据场聚类的分类方法属于非监督分类的范畴,它拥有完整的“样本”,聚类结果反映了数据集整体的贡献。

1 数据场

1.1 数据场介绍

数据场理论是模拟物理学中场论的思想,认为数据空间的客体之间不是孤立的,而是存在某种相互影响或作用。如果把这种相互作用称为能量辐射,则位于数据空间中的任何对象都向整个数据空间辐射能量,同时又受到数据空间中其它对象的辐射影响。数据空间具有场的特点,我们称之为数据场。

1.2 场强函数和势函数

根据物理学中常见的场强函数进行衍生,得到相应数据场的场强函数。通过比较发现,由于数据场场强具有随距离增大而迅速衰减的特性,核辐射场强函数最符合数据辐射的这种基本性质,因此,这里以核辐射场强函数进行衍生,构建数据场的场强函数^[8],该函数描述数据辐射能量的空间分布规律,即

$$E_x(\sigma, r, C_T) = e^{-\frac{\gamma_x^2}{2\sigma^2 C_T(m)}} \quad (1)$$

式中, $E_x(\sigma, r, C_T)$ 为距离数据对象 m 为 r_x 处的场强; σ 为辐射因子,它表征了数据对象 m 的辐射范围,对数据场的辐射域起调节作用; r_x 表示对象 x 到 m 之间的欧氏距离; $C_T(m)$ 代表数据对象 m 的自身初始能量。

场强函数描述的是数据对象两两之间的场强。对某个数据对象,用它周围数据对象在它上所形成的场强叠加之和作为此处数据场的势(Potential)。根据空间数据的场强函数,容易得到空间数据场的势分布函数,即

$$P_m(\sigma, r, C_T) = \sum_{i=1}^N E_{x_i} = \sum_{i=1}^N e^{-\frac{\gamma_{x_i}^2}{2\sigma^2 C_T(m)}} \quad (2)$$

式中, $P_m(\sigma, r, C_T)$ 为空间某点 m 在数据场中的势; x_i 为数据对象 m 辐射范围内的数据点; N 为数据点的数量; γ_{x_i} 为 x_i 到 m 之间的欧氏距离。

1.3 数据场聚类用于遥感影像分类

将数据场理论引入到遥感影像处理中,把光谱特征空间作为数据空间,光谱特征点视为数据客体,将光谱特征点假想成能辐射和吸收能量的空间质点,光谱特征空间的点通过能量辐射相互联系起来

收稿日期: 2008-01-07; 修订日期: 2008-04-07

基金项目: 本文得到国家重点基础研究发展计划“对地观测数据-空间信息-地学知识的转化机理”(973项目)的资助(项目编号: 2006CB701303)

形成一个具有能量的数据场。

地物点在光谱空间形成一个个密度集团,不同类别地物就在于它们形成集群的形状和密度不同。密度大的集团,光谱点之间的距离小,或者为 0(对自己而言),光谱点势能较大,该类地物表现出强的聚类特性;密度小的集团,光谱点之间的距离大,光谱点势能较小,该类地物聚类特性不明显。

大体上,不同类地物都在光谱特征空间有一个对应的密度集团,通过找到集团的分界线,可以达到划分不同地类的目的。

2 有关参数

与势能计算有关的几个重要参数是辐射因子、辐射半径和影像的大小等。辐射半径是数据场中对当前数据对象存在能量辐射的光谱点与当前数据对象的最大距离,在本文中以灰度级为单位。而此处光谱空间以灰度空间表示,即光谱响应数值空间。

2.1 辐射因子

在光谱空间中,辐射因子 σ 越小,表示光谱矢量点辐射范围越小,光谱矢量点之间辐射越弱;当 σ 增大,光谱矢量点的辐射范围增大,其辐射域也增大,光谱矢量点之间辐射增强;当 σ 为一个极小值时,光谱矢量点的能量在极短的距离内急速消失,光谱矢量点之间各自独立,数据场的场强叠加无法体现;当 σ 为一个极大值时,能量的衰减可以忽略不计,此时数据场中任意点的势能都相同,不同光谱矢量点形成的数据场将会完全重叠。所以,适当选取 σ 是应用中的关键。

选取 0.5 ~ 300 的一组 σ ,得到一组势能值,并拉伸到 0 ~ 255 灰度区间,得到一组“势能图像”,计算图像的熵,统计这组 σ 和熵的关系如图 1 所示。

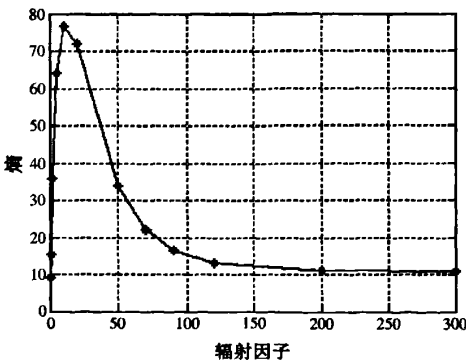


图 1 势能图像的熵与辐射因子关系

从图 1 可以看出,随着 σ 的增大,图像的熵先急速增大,后迅速减小,到一定程度后又变得平缓。

熵最大值对应的 σ 大致在 10 ~ 20 之间,而且总体上看熵的变化率即曲线的斜率随着辐射因子的增大而减小,这说明图像的信息量对辐射因子的选择在某一范围内十分敏感,而当辐射因子大于某一阈值时,图像的信息量变化将十分缓慢。

2.2 辐射半径

为使光谱点的势能充分发挥出来,理论上可使辐射半径覆盖到整个光谱空间,但这会极大地增加运算量。事实上,势能计算的速度主要取决于辐射半径。试验证明,辐射半径在 30(灰度级)以上时(图 2),外围光谱点对当前点的能量已可以忽略不计,当前点的势能值对辐射半径的扩大已不再敏感。20 ~ 30 是一个较好的选择。

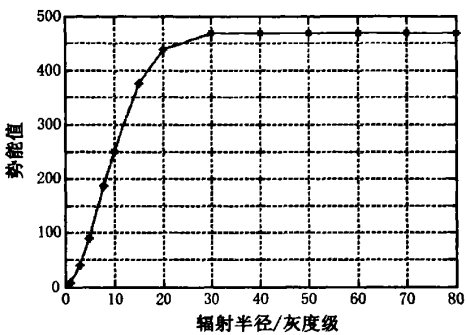


图 2 势能值与辐射半径的关系

2.3 数据量

势能值与数据量(即影像大小)有关。影像大小改变光谱特征空间特征点的密度,改变势能计算时光谱点对势能值的累积贡献,但与光谱点在特征空间的分布和聚类没有必然的关系。

3 试验与分析

3.1 特征选择与光谱特征空间构建

为便于在二维空间观察光谱点的聚类情况和以三维可视化特征空间,本文仅选择 2 个波段(特征)来构造光谱特征空间。

光谱空间的笛卡儿网格点坐标就是遥感影像灰度的等级量化(0 ~ 255),并且还可以对灰度进行离散化以压缩网格点密度。光谱空间的纵坐标是势能值,如果把势能值看作地形的高程,借助 MatLab 中的可视化工具,在光谱特征空间可以画出一个个的“山峰”或“高地”。

特征(波段)的选择与它们之间的相关系数有关。本文选择 TM 图像相关系数最小的 1、4 波段组合,以及主分量变换的前 2 个分量 PC1、PC2 组合,并比较它们的聚类效果(如图 3 所示)。

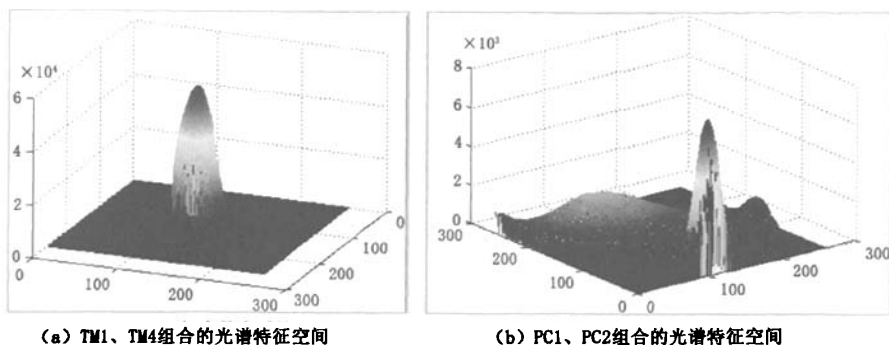


图3 光谱空间的模拟可视化

(X和Y轴为影像灰度的等级量化,Z轴为势能值)

可以看出,在1、4波段组合中,光谱点总体上不可分,表现为一个大的山峰;在PC1、PC2组合中,光谱点总体上可分,表现为几个山峰或高地。

3.2 势能计算

确定了辐射因子和辐射半径后,遍历光谱空间的特征点,计算辐射半径内光谱点对当前点的场强,并累加。光谱点和地物点是一对多的关系,多个地物点映射到光谱空间时,对重复的多个地物点要把它们对势能的累积贡献考虑进去,并把当前点对自己的贡献也考虑进去。

3.3 数据场聚类

特征空间的划分是本文的关键。如果我们能找出“山峰”两两之间的山谷线,即完成了特征空间的划分。有人提出用爬山法实现数据场的聚类^[7]。其大致思路是:先用爬山法找到局部最大值点,每个局部最大值点对应一个“山峰”;对两个交叠的“山峰”,先用下山法找到山谷上的一个点,再爬山找到鞍点,最后用下山法划出山谷线,即完成了划分。也有学者提出,用势心(某个聚类的数据场中心)消除法逐次地获得势心即每个山顶^[4]。大概思想是,通过修改公式(1)中的辐射半径,得到递推的新场强函数,顺次消除数据场最强峰值,以此得到一

系列的聚类中心。

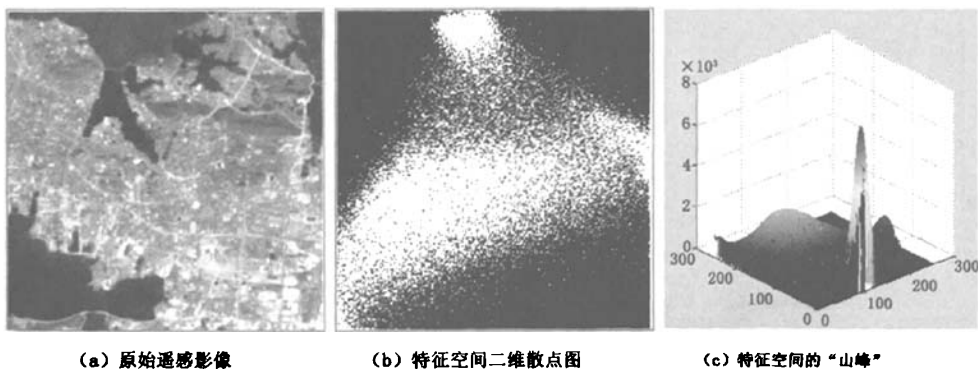
笔者经试验后认为,上述方法对于用云发生器产生的数据或者遥感影像的样本具有较好的聚类结果,但对整幅影像,存在很大的困难。数据场聚类会产生非规则的任意形状的聚类,聚类的“高程”相差很大。爬山法有时会有不成功的情况,例如对2个相对较平坦的“高地”,如果鞍部较大,从山谷上的一点爬山不能找到鞍点;用势心消除法得到第一个势心后,有可能未消除的残余部分其峰值比下一个势心的势能值还要大,导致势心消除法得到错误的结果,等等。

3.4 势能图像分割

针对上述方法存在的问题,本文采用分水岭分割方法实现对特征空间的划分。其实现过程是:

首先,将势能值拉伸到0~65 535区间,得到一幅势能图像;然后,对势能图像实现某种变换,得到一幅新的梯度图像;最后,对梯度图像应用分水岭变换,得到分割的图像。这个分割结果就是对光谱空间的划分。

图4(a)~(i)是将原始图像变换到特征空间后进行分割和分类的过程。



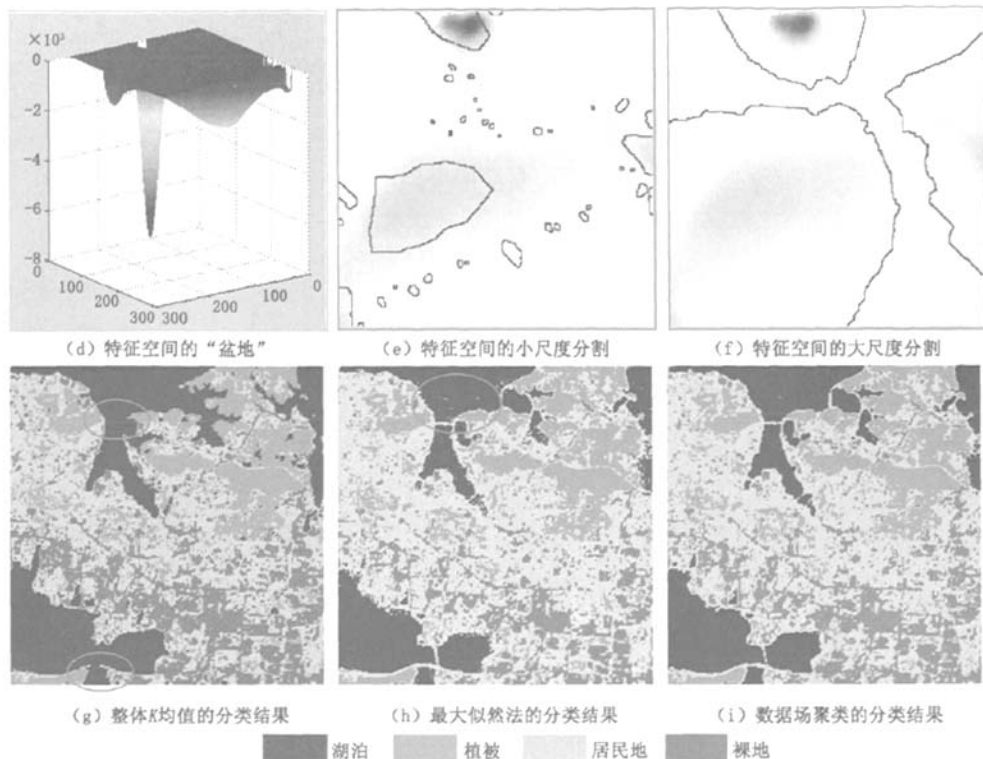


图4 聚类及分类过程

在分割过程中有2个针对势能图像的预处理:一是对势能图像,先取反(即变成负数)再拉伸,把原来的“山峰”图4(c)变成“盆地”,便于进行分水岭变换,如图4(d)所示;二是对势能图像进行平滑去噪。噪声来源主要是光谱空间的非连续性,以及遥感影像上只有极少个点的地物类。本试验中使用3像元 $\times$ 3像元的中值滤波。图4(e)~(f)是用不同尺度得到的分割结果。

3.5 提取影像点完成分类

通过聚类已经实现了光谱点的划分,即将光谱空间中的点簇划分成了一个密度集团。而在前面构建光谱特征空间时,已建立了光谱点到影像点的映射,接下来分别提取这些密度集团对应的影像点,即完成了分类。

图4(i)是应用数据场聚类方法的分类结果。可以看出,数据场方法和最大似然法的结果比较相似,都优于整体K均值方法。整体K均值方法把很多非湖泊错分成了湖泊,如图4(g)中的南湖大桥和东湖中的一条路(图中椭圆内),图4(h)和4(i)却很好体现了这一细节。

在数据场方法和最大似然法的分类结果中,湖泊中(水陆交接处)都有很多细碎的非水域点,而且最大似然法的还要多些,如图4(h)中椭圆处最为明显。植被的分类基本上是一致的,居民地和裸地略

有差异。我们看到数据场方法在分类结果上和最大似然法相比并没有明显的优势,但数据场方法无需地物的先验知识,无需样本,无需训练。

4 讨论

数据场聚类存在一个信息粒度的概念。粒度是对概念抽象度的度量,是我们看同一问题的不同层次或高度。本文通过辐射因子 σ 的变化反映出数据之间不同的影响力:当增加 σ 值时,数据之间的影响力加强,反映出来的是数据之间共性特征,是从宏观观察数据,发现数据中宏观知识,表现在分类结果上就是对地物的概括程度大,得到的地物类别少;当减少 σ 值时,数据之间的影响力减弱,反映出来的是数据的个性特征,是从微观观察数据,表现在分类结果上就是对地物的概括程度小,得到的地物类别多。

5 结论

(1)数据场聚类是对特征空间的聚类,通过场强函数使得数据集中的每一个特征点在特征空间的作用都借助“场的势”表现出来,其聚类结果反映了数据集全体的贡献。

(下转第26页)

A REMOTE SENSING IMAGE FUSION METHOD BASED ON WAVELET TRANSFORM

FAN Wen - ting, FU Ping

(Key Laboratory of Geo - detection, Ministry of Education; China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: In this paper, a new ETM⁺ image controllable fusion method based on wavelet transform is proposed. By introducing parameters, these ETM⁺ image were fused in wavelet space and the balance between preservation of spectral characteristics and retention of high spatial resolution can be achieved at different levels. Experimental results show that, with the combination of some parameters, the visual effects and the statistic indices that traditional image fusion methods fail to achieve can be attained by using the method proposed in this paper.

Key words: Image fusion; Wavelet transform; ETM⁺ image; Controllable parameter

第一作者简介: 范文婷(1983 -), 女, 现就读于中国地质大学(北京), 攻读硕士研究生学位, 专业为通信与信息系统, 研究方向为信号与信息处理, 现主要从事遥感图像处理研究工作。

(责任编辑: 刁淑娟)

(上接第 23 页)

(2) 数据场对光谱空间的划分是从原始数据固有特征出发, 发掘数据内部相似性, 无需样本, 并且可以发现任意形状的聚类^[8]。

(3) 数据场聚类作为数据挖掘的一个方面, 它挖掘的对象大多并不存在先验知识。因此, 我们认为知识是通过光谱特征空间中的数据客体来体现的, 客体之间存在某种影响, 知识正是通过这种客体间的相互影响来体现的。在这里, 这个相互影响函数就是势函数。

当然, 数据场聚类也存在参数(如辐射因子)的合理选择和对特征空间划分的精度问题, 这应该在今后的研究中加以考虑。

参考文献:

- [1] 李德毅, 杜 鹍. 不确定人工智能[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [2] 李德毅, 王 晔, 吕辉军. 知识发现机理研究[A]. 中国人工智

能学会. 中国人工智能进展: 2001[C]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2001.

- [3] 邱凯昌. 空间数据挖掘和知识发现的理论与方法[D]. 武汉: 武汉测绘科技大学, 1999.
- [4] 王树良. 基于数据场与云模型的空间数据挖掘和知识发现[D]. 武汉: 武汉大学, 2002.
- [5] 戴晓军, 谄文燕, 李德毅. 基于数据场的图像数据挖掘研究[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(26): 41 - 43, 88.
- [6] 李兴生. 基于云模型和数据场的分类和聚类挖掘研究[D]. 北京: 中国人民解放军理工大学, 2003.
- [7] 赵卫伟. 数据场聚类及其实现[D]. 北京: 中国人民解放军理工大学, 2003.
- [8] 刘 楠. 基于光谱空间数据场模型的遥感影像边缘提取[D]. 武汉: 武汉大学, 2005.
- [9] 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [10] 王家文, 曹宇. MATLAB 图形图像处理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- [11] 刘建平, 赵英时, 孙淑玲. 高光谱遥感数据最佳波段选择方法试验研究[J]. 遥感技术与应用, 2001, 16(1): 7 - 13.

A STUDY OF THE METHOD FOR CLSSIFICATION OF REMOTE SENSING IMAGES BASED ON DATA FIELD CLUSTER

TAO Jian - Bin, SHU Ning, SHEN Zhao - qing

(School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: The data field cluster method was used to map the dataset in the spectral space and fully reflect the contribution of the spectral point to the cluster through potential. The classification of remote sensing images was conducted by such means as the construction of feature space, calculation of potential and segmentation of gradient images. The influence of radiation factors and radiation radii on the cluster is also discussed in this paper.

Key words: Data field; Cluster; Remote sensing image; Classification

第一作者简介: 陶建斌(1975 -), 男, 博士生, 研究方向为高光谱影像智能化解译。

(责任编辑: 刁淑娟)