



测绘科技专著出版基金资助

CEHUI KEJI ZHUANZHU CHUBAN JIJIN ZIZHU

北京市测绘设计研究院青年科技创新基金资助

Application of Bayesian Networks in Image Interpretation

虞欣 著

贝叶斯网络 在影像解译中的应用



测绘出版社

测绘科技专著出版基金资助
北京市测绘设计研究院青年科技创新基金资助

贝叶斯网络在影像解译中的应用

Application of Bayesian Networks in Image Interpretation

虞 欣 著

测 绘 出 版 社

· 北京 ·

© 虞欣 2011

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内 容 简 介

本书在系统分析和总结贝叶斯网络基本理论和方法的基础上,探讨如何将贝叶斯网络应用于影像纹理分类中,并进一步拓宽其在该领域中的应用。主要内容包括:基于贝叶斯网络的特征选择方法、基于贝叶斯网络的影像纹理分类模型、引入简单图像语义信息和带有相关反馈的影像纹理分类的贝叶斯网络方法。本书在借助贝叶斯网络能够描述随机变量之间因果关系的优势进行特征选择、针对航空影像中的居民地和灌木两种典型地物提取语义信息,以及将控制论中的控制与反馈思想引入训练样本的选择过程等方面都颇有特色。

本书可供从事摄影测量与遥感、人工智能、模式识别、知识发现、机器学习、图像理解、信息处理、计算机科学、数理统计学、机器人、生物医学等专业的科研人员和大专院校相关专业的师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

贝叶斯网络在影像解译中的应用/虞欣著. —北京:测绘出版社, 2011. 6

ISBN 978-7-5030-2293-7

I. ①贝… II. ①虞… III. ①贝叶斯推断—应用—图象解译 IV. ①TP753

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 088415 号

责任编辑	万茜婷	封面设计	李 伟	责任校对	董玉珍 李 艳
出版发行	测绘出版社				
地 址	北京市西城区三里河路 50 号	电 话	010—68531160(营销)		
邮政编码	100045		010—68531609(门市)		
电子信箱	smp@sinomaps.com	网 址	www.sinomaps.com		
印 刷	北京民族印务有限责任公司	经 销	新华书店		
成品规格	169mm×239mm				
印 张	9	字 数	180 千字		
版 次	2011 年 6 月第 1 版	印 次	2011 年 6 月第 1 次印刷		
印 数	0001—1500	定 价	32.00 元		

书 号 ISBN 978-7-5030-2293-7/P·534

本书如有印装质量问题,请与我社联系调换。

序一

目前,我国正处于从数字化测绘迈向信息化测绘的新阶段。当前,数据的快速更新问题无疑是阻碍信息化测绘进程的最大壁垒,而影像自动解译则是数据快速更新中最主要的瓶颈之一,同时也是国内外研究的热点和难点之一。本书将人工智能领域中的贝叶斯网络成功地引入航空影像纹理分类中,为解决影像自动解译开辟了一条新的途径。

本书对贝叶斯网络在影像纹理分类中的应用进行了深入研究,在特征选择、连续型贝叶斯网络分类器的推理、简单图像语义信息的提取,以及在贝叶斯网络的训练阶段引入控制与反馈的思想等方面,都有创新的理解和分析。

在航空影像的纹理分类中,作者推导了三种连续型贝叶斯网络的分类——多级贝叶斯网络、带有隐藏节点的贝叶斯网络和树型贝叶斯网络的数学模型,并利用这些模型进行了图像特征选择的尝试,取得了较好的效果。

众所周知,在图像分类中如何引入图像语义信息提高图像分类精度是当前研究的热点。作者在本书中提出两种图像语义信息提取的分类方法:一种是引入后验概率图像语义信息的分类方法;另一种是引入图像分割语义信息的分类方法。这两种语义信息的提取方法对影像自动解译的进一步研究,具有很好的学术参考价值。

在最后一章中,作者大胆地提出将控制论中的控制与反馈的思想,引入到航空影像分类的训练阶段,把人作为系统的一部分,使原先以计算机为中心的模式转变为以人为中心的模式。把人的思维纳入训练阶段,为图像解译的深入研究提供了一个全新的思路。

希望该书的出版能为更多关心这方面研究的读者提供一个相互交流的平台。

武汉大学 教授 博士生导师

郑肇葆

2011年2月

序二

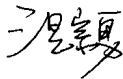
测绘学是一门古老的学科,有着悠久的历史。摄影测量与遥感是测绘学的核心。若从 1839 年尼普斯(J. N. Niepce)和达盖尔(L. Dauguerre)发明摄影术算起,摄影测量学已有 170 多年的历史。摄影测量与遥感的基本任务是对影像目标实施三维空间定位和物理属性的解译。摄影测量的全自动化是摄影测量工作者多年来孜孜不倦地追求的目标。目前,已经取得较大进展的是影像匹配与几何信息(非语义信息)的提取,而另一个更加困难的任务,物理属性(语义信息)的自动提取即影像解译,仍有很长的路要走。影像自动解译是摄影测量学及计算机视觉领域的热门课题,有着十分重要的理论和现实意义。

实际上,影像自动解译(或称为影像分类),其本身就是一个科学难题,特别是对高分辨率的航空影像来说,由于地物的错综复杂性,直至今日,影像解译的精度、可靠性和稳定性还远远不能达到实际生产的要求,同时影像解译的自动化程度也不高。目前,影像解译仍然是摄影测量与遥感领域理论研究中尚未完全解决的热点问题之一,也是生产中亟待解决的一个瓶颈。国内外目前还没有成熟的影像解译全自动化商业软件,影像地物的半自动提取效率较低,难以满足空间信息的快速获取和更新的需要。

本书是在分析经典最大似然法的基础上,将人工智能领域中的一种新方法——贝叶斯网络引入到影像解译中,这是开创影像解译新局面的较好途径。全书系统地综述了影像解译的发展和有关的基础知识,并注重基本原理和方法的描述,同时对关键技术进行了重点阐述,深入浅出,对影像解译的进一步研究具有很好的参考价值。

虽然在影像解译的历史道路上,人类已经走过了近半个世纪,并取得了大量的研究成果,但与实际的生产需求之间仍存在着较大的差距,还处在一个半自动化的水平。希望虞欣博士撰写的本书能为推动国内外在影像解译领域的理论研究和实际应用向前发展起到积极的作用。同时,我也殷切地希望我院的青年学者能够百尺竿头更进一步,在空间信息科学领域的理论及实践方面做出更大的贡献。

北京市测绘设计研究院院长



2011 年 3 月

前 言

摄影测量经历了模拟摄影测量、解析摄影测量与数字摄影测量。在数字摄影测量时代,影像匹配的研究取得了实质性的进展,用计算机代替人眼已然成真。然而,要实现摄影测量的全自动化,影像自动解译又成为了一只“更大的拦路虎”。在影像解译的道路上,人类已经走过了近半个世纪,也取得了大量的研究成果,但与实际的生产需求之间仍然存在着较大的差距,尚处在一个半自动化的程度。目前,将人工智能领域中的一些方法和思想引入到影像解译领域中,相互取长补短,是开创影像解译新局面的较好途径。实际上,贝叶斯网络方法很早就引起了人工智能领域研究工作者的广泛关注和兴趣,它是概率论和图论相结合的产物,是一个带有概率注释的有向无环图,它能够表示随机变量之间的因果关系或概率关系。一方面贝叶斯网络可以用图论的语言直观地揭示问题的结构,另一方面它按照概率论的原则对问题的结构加以利用,降低了推理的计算复杂度。鉴于此,本书将贝叶斯网络应用于影像解译中,并力图探索一条贝叶斯网络在航空影像纹理分类应用中的有效途径,为实现摄影测量与遥感的全自动化和智能化打下一定的基础。

本书基于作者博士论文的成果,结合多年从事影像解译方面的研究与实践撰写而成。全书共分为6章。第1章在论述贝叶斯网络理论和相关背景的基础上,重点介绍了本书的研究内容和成果。第2、3章在系统地分析和总结了贝叶斯网络的基本理论和方法的基础上,利用贝叶斯网络能够描述随机变量之间因果关系的优势,将其应用于特征选择中。第4章将3种连续型贝叶斯网络方法即多级贝叶斯网络、带有隐藏节点的贝叶斯网络和树型贝叶斯网络,应用于航空影像的纹理分类中,并进行了相应的实验、分析与比较。第5章针对航空影像中居民地和灌木两种特殊地物,分别提出引入简单图像语义信息的航空影像纹理分类的贝叶斯网络方法,以提高影像分类的精度和可靠性,并通过实验取得了较好的效果。第6章提出两种带有伪相关反馈的航空影像纹理分类的贝叶斯网络方法,在贝叶斯网络的训练阶段引入控制论中控制与反馈的思想,从而通过“捕获”训练样本质量的信息来控制训练阶段的学习质量,以进一步提高影像分类的精度。

全书对贝叶斯网络在航空影像纹理分类中的应用进行了深入研究,在特征选择、连续型贝叶斯网络分类器的推理、简单图像语义信息的提取,以及在贝叶斯网络的训练阶段引入控制与反馈的思想等方面颇具特色,充分反映了学科前沿,具有重要的理论和实际意义。

本书是作者多年实践的结晶,本书的完成离不开母校武汉大学老师们的指点

和帮助。特别提出感谢的是郑肇葆教授和魏克让教授。前者作为作者的恩师,其一言一行一直深深地影响着作者;而后者作为作者本科毕业设计的指导老师,启发了作者对概率统计的浓厚兴趣。同时,还要感谢所有在本书背后一直关心、理解和支持作者的亲友们。

本书的顺利出版得到了测绘科技专著出版基金和北京市测绘设计研究院青年科技创新基金的资助,在此感谢国家测绘地理信息局和北京市测绘设计研究院领导的支持和帮助。

由于作者水平有限,书中难免有不当或错误之处,欢迎读者不吝雅正。

目 录

第 1 章 绪 论	1
§ 1.1 引 言	1
§ 1.2 贝叶斯网络的研究与应用现状	4
§ 1.3 贝叶斯网络在影像解译中的应用	8
第 2 章 贝叶斯网络的基本原理	10
§ 2.1 贝叶斯学习基础	10
§ 2.2 贝叶斯网络的基本概念	18
§ 2.3 贝叶斯网络的学习	28
§ 2.4 贝叶斯网络的推理	33
§ 2.5 动态贝叶斯网络	35
§ 2.6 贝叶斯网络与其他算法的关系	36
§ 2.7 本章小结	37
第 3 章 基于贝叶斯网络的特征选择	38
§ 3.1 影像特征选择方法概述	39
§ 3.2 影像纹理特征的描述与提取	42
§ 3.3 算法流程	46
§ 3.4 实验与分析	49
§ 3.5 本章小结	52
第 4 章 基于贝叶斯网络的航空影像纹理分类	54
§ 4.1 简单贝叶斯网络的分类方法	55
§ 4.2 多级贝叶斯网络的分类方法	57
§ 4.3 带有隐藏节点的贝叶斯网络的分类方法	63
§ 4.4 树型贝叶斯网络的分类方法	70
§ 4.5 本章小结	76
第 5 章 引入图像语义信息的贝叶斯网络的航空影像纹理分类方法	78
§ 5.1 图像语义信息	78

§ 5.2	引入后验概率的简单语义信息的分类方法·····	83
§ 5.3	引入图像分割的简单语义信息的分类方法·····	89
§ 5.4	本章小结·····	98
第 6 章	带有伪相关反馈的贝叶斯网络的航空影像纹理分类方法·····	100
§ 6.1	控制与反馈·····	100
§ 6.2	相关反馈·····	102
§ 6.3	带有统计质量管理的伪相关反馈机制的分类方法·····	110
§ 6.4	带有 Q 型因子分析的伪相关反馈机制的分类方法·····	114
§ 6.5	本章小结·····	119
参考文献 ·····		120

CONTENTS

Chapter 1	Introduction	1
§ 1.1	Foreword	1
§ 1.2	Review of Bayesian Networks	4
§ 1.3	Application of Bayesian Networks in Image Interpretation	8
Chapter 2	Principles of Bayesian Networks	10
§ 2.1	Bayesian Statistics	10
§ 2.2	Basic Concept of Bayesian Networks	18
§ 2.3	Learning of Bayesian Networks	28
§ 2.4	Reasoning of Bayesian Networks	33
§ 2.5	Dynamic Bayesian Networks	35
§ 2.6	Bayesian Networks and Other Algorithms	36
§ 2.7	Summary	37
Chapter 3	Feature Selection Based on Bayesian Networks	38
§ 3.1	Review of Feature Selection	39
§ 3.2	Feature Extraction	42
§ 3.3	Program and Flow	46
§ 3.4	Experiment and Analysis	49
§ 3.5	Summary	52
Chapter 4	Texture Classification of Aerial Image Based on Bayesian Networks	54
§ 4.1	Naive Bayesian Networks	55
§ 4.2	Multi-level Bayesian Networks	57
§ 4.3	Bayesian Networks with Hidden Nodes	63
§ 4.4	Bayesian Networks Augmented Naive Bayes	70
§ 4.5	Summary	76

Chapter 5	Texture Classification of Aerial Image Based on Bayesian Networks with Semantic Information	78
§ 5.1	Image Semantic Information	78
§ 5.2	Simple Image Semantic Information Based on Post-probability	83
§ 5.3	Simple Image Semantic Information Based on Image Segmentation	89
§ 5.4	Summary	98
Chapter 6	Texture Classification of Aerial Image Based on Bayesian Networks with Relevance Feedback	100
§ 6.1	Control and Feedback	100
§ 6.2	Relevance Feedback	102
§ 6.3	Classification with Relevance Feedback Based on Statistic Quality Control	110
§ 6.4	Classification with Relevance Feedback Based on Q Factor Analysis	114
§ 6.5	Summary	119
References		120

第1章 绪 论

§ 1.1 引 言

摄影测量与遥感的基本任务是对影像目标实施三维空间定位和物理属性的解译,而摄影测量的全自动化是摄影测量工作者一直以来孜孜不倦地追求的目标。到目前为止,已经取得较大进展的是影像匹配与几何信息(非语义信息)的提取,而另一个更加困难的任务,物理属性(语义信息)的自动提取,即影像(自动)解译方面仍有很长的路要走。影像自动解译是摄影测量学及计算机视觉领域的热门课题,有着十分重要的理论和现实意义(中国测绘学会,2003,2004,2005,2006)。

影像是客观实体的一种表示,它具有信息丰富、形态逼真、传输速度快、作用距离远等优点,是人们获取信息最重要的来源。影像通过像元灰度值的高低差异(反映地物的波谱特性)和空间变化(反映地物的空间分布)来表示不同属性的地物目标及其分布状况(钱乐祥,2004)。影像自动解译是计算机模式识别技术在摄影测量领域中的具体应用,是影像应用处理的重要内容和关键技术之一,它有时也称为影像自动分类。

影像解译既是一种技术,又是影像处理的一个过程。作为一种技术,影像解译的目的是为了从影像上得到地物信息所进行的基础理论和实践方法的研究。作为一个过程,它完成地物信息的传递并起到解释影像内容的作用,其目的是取得地物各组成部分和存在于其他地物的内涵信息(关泽群等,2007)。

实际上,影像自动解译(以下简称影像解译或影像分类),其本身就是一个科学难题。特别是对于高分辨率的航空影像,由于地物的错综复杂,直至今日,影像解译的精度、可靠性和稳定性还远远不能达到实际生产的要求,而且影像解译的自动化程度还不高,尚处在半自动化水平。国内外还没有成熟的影像解译全自动化的商业软件,影像地物的半自动提取主要还是在人工引导下进行,其效率较低,难以满足空间信息的快速获取和更新的需要。

随着现代科学科技的日新月异,当前科学技术已经进入一个多学科互相影响、互相交叉、互相渗透的时期。对于遥感科学来说,也不例外。一方面,人工智能、计算机视觉、信息科学、信号处理技术和模式识别技术等向该学科渗透,使得该学科可以利用其他领域的思想和方法来解决自己的问题,进而丰富自己的思想。另一方面,该学科也向其他学科渗透,如医学影像处理、工业中零部件的质量检测等。

因此,综合应用人工智能、计算机视觉、信号处理和心理学等其他领域的最新成果,发展完善诸如地物目标提取与识别、地形三维信息处理、信息压缩与融合等关键技术是当前遥感学科发展的一个重要方向。毋庸置疑,影像解译的自动化和智能化是其中一项最为迫切的任务。

通常,对于一个普通人来说,理解(或解译)一幅影像的内容并非是一件难事,然而对于一台计算机来说,要想建立一个类似于人类视觉的影像理解(或解译)系统,却是相当困难。其主要原因有以下几个方面(叶志伟,2006)。

(1)计算机影像处理技术是对人类视觉的一种模拟,而人类的视觉系统是一种神奇的、高度自动化的生物影像处理系统。目前,人类对于视觉系统生物物理过程的认识还很肤浅,视觉计算理论还不够完善,迄今为止还没有一个统一的理论。此外,计算机系统应用什么途径去“模仿”也是一个问题。

(2)影像本身并不具有精确描述三维景物的全部信息,这就需要知识的引导。如何表示和应用知识并非一件易事,这正是人工智能领域中正致力研究和解决的问题。另外,影像在形成过程中受到许多因素的影响,从而产生许多“不确定”的因素。而且现实场景的复杂性和多样性,使得现有的算法缺少可靠性和通用性。

(3)影像分类中所使用的影像特征对分类识别的效果有直接的影响。选择和提取较好的特征,可以增加不同类别之间的差异性,从而可以比较容易地实现影像的分类和分割,所以特征的提取和选择是影像分类和分割的关键问题之一。

(4)影像分类主要包括训练(学习)和测试两个阶段。其实,训练阶段的学习质量直接影响到后续的分类效果。在训练阶段,训练样本的选择在整个监督分类过程中具有举足轻重的作用。选择不同的训练样本,其分类结果可能有着“天壤之别”。正确地选择具有典型性和代表性的训练样本,是能否取得良好分类效果的一个关键问题。近些年,训练阶段的学习质量开始引起研究工作者的重视。

虽然是困难重重,但是人们还是对它进行坚持不懈地探索和研究。到目前为止,人类研究影像解译已经近半个世纪,国内外的科研工作者也取得了大量的研究成果。在监督分类方法中,最经典、应用最广泛的莫过于最大似然法,过去和现在几乎所有图像处理软件中都有这一算法,它有时也称为贝叶斯分类器。然而,近年新的方法也层出不穷,特别是人工智能领域的一些思想和方法被引入到影像解译中,如神经网络、支撑向量机、遗传算法、人工免疫算法、粒子群算法、蚁群行为仿真、危险理论等方法。这些新思想和新方法取得了一定的效果,但是目前主要还是停留在理论实验阶段,离实际的生产应用还有一定的距离。总的看来,要实现影像解译的自动化和智能化还有漫长的路要走,将人工智能领域中的一些新方法和思想引入到影像解译领域中,互相取长补短,是开创影像解译新局面的较好途径。

实际上,贝叶斯网络方法(Bayesian networks)最早引起了人工智能领域研究工作者的广泛关注和兴趣。贝叶斯网络是概率论和图论相结合的产物,它一方面

用图论的语言直观地揭示问题的结构,另一方面它按照概率论的原则对问题的结构加以利用,能够降低推理的计算复杂度。因此,将贝叶斯网络方法引入到影像纹理分类的应用中,不失为影像解译研究的一个新思路。

贝叶斯网络是一个带有概率注释的有向无环图,它能够表示随机变量之间的因果关系或概率关系,利用它可以对各种不确定性进行研究。它的最大特点是用概率表示所有形式的不确定性。与当前比较流行的决策树、神经网络、进化算法等相比,贝叶斯网络具有以下一些特点(陆汝钤,2001)。

1. 具有坚实的数学理论基础

贝叶斯理论其实是经典统计学的一种拓展和延伸,它给出了信任函数在数学上的计算方法,具有稳固的数学基础。与此同时,它刻画了信任度与样本数据的一致性,以及信任度随数据而变化的增量学习特性。长期的理论研究和实践应用,证明了贝叶斯网络的有效性和正确性。

2. 能够描述变量间的因果关系并可以利用先验信息和样本信息

贝叶斯网络能够用图形的方法描述节点之间的相互关系,语义清晰、可理解性强,这有助于利用随机变量间的因果关系或概率关系进行预测分析。此外,贝叶斯理论将先验信息和样本信息巧妙地结合在一起,既避免了只使用先验信息可能带来的主观偏见,又可以避免只使用数据样本信息带来的“噪声”的影响,在样本数据难以获取或者代价昂贵的时候特别有用。

3. 利用随机变量之间的条件独立关系分解联合概率的计算

贝叶斯网络不仅可以用图论的语言直观地揭示问题的结构,还可以按照概率论的原则对问题的结构(随机变量之间的条件独立关系)加以分析,把联合概率分布进行分解,从而降低推理计算的复杂度,使得人们能够将概率论应用于大型问题。

4. 具有概率语义并能够处理不完整数据

多种高效的推理算法使贝叶斯网络能够回答多种概率查询,这是由于贝叶斯网络没有查询方向的限制,没有输入变量和输出变量的区别。而且贝叶斯网络可以处理不完备和带噪声的数据集,它用概率测度的权重来描述数据间的相关性,从而解决了数据间的不一致性,甚至是相互独立的问题。

当前,贝叶斯网络的研究内容非常广泛,如贝叶斯网络的结构与参数学习、贝叶斯网络的推理、贝叶斯网络的基础理论研究及其在各个领域中的应用研究等。特别是在应用方面,其范围涉及计算机网络、医学影像处理、警报系统、控制理论与控制工程、信息安全等多个学科和领域。贝叶斯网络在影像解译领域中的应用目前尚处于起步阶段,本书研究的主要目的是探索一条贝叶斯网络在影像解译中应用的有效途径,为实现摄影测量与遥感的自动化和智能化打下一定基础。

§ 1.2 贝叶斯网络的研究与应用现状

统计学思想远古即存,但作为一门学科的历史却不长。然而统计中的学派却很多,比较重要而有广泛影响的有三个学派——经典学派(或称为频率学派、抽样学派)、贝叶斯学派和信念学派。历史上,把概率引入统计的有两位重要人物:一个是比利时统计学家凯特勒(A. Quetelet),其工作后来受到了马克思(K. Marx)的重视,被社会经济统计学家推为近代统计的始祖;另一位是英国数学家贝叶斯(R. T. Bayes)。从那时起,经典学派和贝叶斯学派的争论一直到现在还是“喋喋不休”,特别是在西方国家尤为突出。这两个学派在观点和方法上的主要差别大致为:①对概率的理解和解释;②对统计问题的看法和处理(泽尔纳,2005)。

贝叶斯学派奠基性的工作是贝叶斯(1763)的一篇论文——“An essay towards solving a problem in the doctrine of chances”(普雷斯,1992),该论文在他死后发表于1763年伦敦皇家学会哲学学报上。贝叶斯是第一个对归纳推理给出精确定量表达方式的人,因而该论文在科学史上被当做最著名的回忆录之一。随后,著名的数学家拉普拉斯(P. S. Laplace)用贝叶斯提出的方法导出了重要的“相继律”。到了20世纪初,意大利的菲纳特(B. Finetti),稍后一些英国的杰弗莱(H. Jeffreys)都对贝叶斯学派的理论做出了重要的贡献。与经典学派不同,贝叶斯学派把重点放在参数空间上(或总体分布所处的状态空间),利用经验的知识减少试验的工作量和节省费用,并且其方法比较容易被实际工作的专家、工程师、技术人员所接受,在应用方面的成效比较显著(吴喜之,2005)。

第二次世界大战后,罗马尼亚裔美国统计学家瓦尔德(A. Wald)提出了统计的决策理论,到了20世纪50年代,以美国的罗宾斯(H. Robbins)为代表,提出经验贝叶斯方法,也就是如何利用历史上的统计资料去确定先验分布。实际上,经验贝叶斯方法把贝叶斯方法和经典方法的观点有机地结合在一起,这引起了统计界的广泛注意(张尧庭等,1991)。这一方法很快就显示出它的优点,成为很活跃的一个方向,并且受到刚刚兴起的人工智能的“青睐”,人工智能领域的专家和学者对它进行了广泛的应用研究。

然而,在20世纪60年代末70年代初,人工智能领域的研究工作者发现联合概率的复杂度相对于变量的个数呈指数增长,特别是当变量个数很多的时候,联合概率的获取、存储和运算都变得十分困难,因此大多数学者认为概率论不适合解决人工智能中的不确定性问题。

随着人工智能的发展,尤其是机器学习、数据挖掘的兴起,为贝叶斯统计理论的发展和应用提供了更为广阔的空间。到了20世纪80年代,人们发现利用变量间的条件独立关系可以将联合概率分布分解成多个复杂度较低的概率分布,从而

降低模型表达的复杂度,提高推理效率,使得人们可以应用概率方法来解决大型问题,从此,概率方法又重新在人工智能领域的研究中得到重视。

为了更好地表示和理解变量间的条件独立关系,1988年 Pearl(1988)提出贝叶斯网络的概念。贝叶斯网络的引入,使得变量间的条件独立关系一目了然,与此同时,它也为概率的推理提供了更多的便利,但贝叶斯网络的引入却没有进一步降低复杂度。此外,Pearl 还认为,贝叶斯网络提供了人脑推理过程的一个模型,因为独立和依赖关系是人们日常推理的基本工具,而且人类知识的基本结构也可以用依赖图来表达。

从此,贝叶斯网络作为一种新的学习工具,逐渐受到广大人工智能研究者的关注。贝叶斯理论的内涵相比以前也有了很大的变化。20世纪80年代贝叶斯网络用于专家系统的知识表达。90年代进一步研究可学习的贝叶斯网络,用于数据挖掘和机器学习。近年来,贝叶斯学习理论方面的文章更是不胜枚举,内容涵盖了人工智能的大部分领域,如不确定性的研究。在过去几十年中,众多研究人员对多种不确定性知识的表示和运用方法进行了探索,如证据理论模型、确定性因子、PROSPECTER 模型、粗糙集理论(rough set theory)、模糊集理论(fuzzy theory)等。然而,近年来逐渐成为主流的贝叶斯网络方法更具有代表性,并且出现了专门研究贝叶斯理论的组织和学术刊物 ISBA(史忠植,2002)。

用贝叶斯网络对人工智能领域中的不确定性问题进行研究,已经成为人工智能领域中的一个重要研究方向。大量的研究成果表明,贝叶斯网络是一种不确定性推理和数据分析的有效工具(Buntine,1996)。贝叶斯网络的研究内容十分广泛,呈现出多学科相互交叉的特点。它的研究内容主要包括:贝叶斯网络的参数学习(Gilks, 1996; Lauritzen, 1995)、贝叶斯网络的结构学习(Chavez et al, 1990; Yang et al, 2002)、贝叶斯网络的推理(Darwiche, 2003; Dechter, 1999)、贝叶斯网络的表示能力(石洪波, 2005)、动态贝叶斯网络(Camci et al, 2005)、混合贝叶斯网络(Tu et al, 2006)、贝叶斯网络的推理精度(Pappas et al, 2002)、隐藏节点(Croft et al, 2003)与节点顺序问题(Smith, 1989)等。(石洪波, 2005)

贝叶斯网络在许多学科和工程当中都有具体的应用,其相应的报告也比比皆是。一些典型的应用领域如下。

(1)医疗诊断是从一系列临床观测和化验结果出发,对病人所患疾病的类别及其程度进行判断。在贝叶斯网络发展的早期,人们研究开发了多个规模可观的医疗诊断网络,比较著名的有 PATHFINDER (Heckerman, 1991) 和 CHILD (Spiegelhalter et al, 1993)等。

(2)贝叶斯网络在工业中的应用也比较广泛,涉及金融分析(Abramson, 1994; Bart et al, 2004)、产品设计(Corney, 2000)、生产制作工艺(Gebhatdr et al, 2003)、工业过程监控管理(Weidl et al, 2003)及可靠性分析(Langseth, 2002)等。

(3) 贝叶斯网络在计算机系统中的应用包括程序理解(Burnell et al, 1995)、软件测试(Ziv et al, 1997)、垃圾邮件过滤(Sahami et al, 1998)、计算机系统故障诊断(Jensen et al, 2001)、决策系统信息显示(Horvitz et al, 1995)、信息提取(Ruokangas et al, 2003)和用户特征提取(Schiaffino et al, 2000)等。

(4) 战场上局势复杂多变, 充满不确定性, 其中涉及的推理问题往往具有实时性、动态性, 以及离散和连续变量相混合等特点。贝叶斯网络在军事上的应用包括目标识别(Hautaniemi et al, 2000)、多目标跟踪(Hautaniemi et al, 2001)、自动防御(Musman et al, 1993)、战场推理(Mengshoel et al, 1998)和训练仿真(Grois et al, 1998)等。

(5) 生态学家和野生动物学家面临的一个任务是分析人类活动对环境及濒临灭绝物种的影响(Borsuk et al, 2002)。在生态学研究中, 数据的采集往往比较困难, 因而需要有效地将珍贵的数据和专家的主观评估结合起来以支持有关决策, 贝叶斯网络为此提供了一个比较好的方法。具体的应用实例包括: 区域护林决策支持(Haas, 1992)、渔业资源管理(Lee et al, 1997)和人类土地利用与野生鱼类数量及栖息地的关系(Borsuk et al, 2002)等。

(6) 贝叶斯网络在农牧业的应用包括农作物预测、兽医诊断、农业环境分析、养殖业的动物受孕测试及农业工程中的故障诊断等, 具体如水库资源管理决策(Said et al, 2001)、农业土地管理和水资源管理(Cain et al, 2003)、土壤腐蚀预测(Hojsgaard et al, 2003)等。

(7) 生物信息学是生物学与计算机科学、应用数学等相互交叉而形成的一门新兴学科。它利用计算机技术来进行生物学实验数据的获取、加工、存储、检索与分析, 进而揭示数据所蕴含的生物学意义。生物信息学是当前贝叶斯网络应用最活跃的领域之一, 如贝叶斯网络在基因连锁分析中的应用(Fishelson et al, 2004; Friedman et al, 2000)、法庭调查中的 DNA 身份验证(Dawid, 2002; Taroni et al, 2004)、基因微阵列质量控制(Hautaniemi et al, 2003)、遗传操纵子预测(Bockhorst et al, 2003), 以及进化树分析(Friedman et al, 2002)等。

(8) 贝叶斯网络应用在分类领域的文献相对比较多, 但绝大多数都是采用离散贝叶斯网络的方法, 也即贝叶斯网络中的节点都是离散属性的随机变量或者先对连续随机变量进行离散化的预处理。然而贝叶斯网络应用在诸如影像解译(Kumar et al, 1996)、影像分割(Liu et al, 2006)、影像融合(Singhal et al, 2000)、变化检测(肖秦琨 等, 2007)、目标识别(Liu et al, 1996)、图像检索(Wilson et al, 2001)、影像视觉质量评价(De-Freitas et al, 2004)等影像处理与分析中的文献相对较少, 应用于影像分类的文献就更少了。这可能是因为在影像处理与分析领域中, 随机变量之间的因果关系并不十分明显, 或者说构建的贝叶斯网络目前还不能“合理”地解释随机变量(节点)之间的关系, 但是这种关系却是客观存在的。