

高炉专家系统知识的实例学习*

刘金琨 王树青

(浙江大学工业控制技术国家重点实验室·杭州, 310027)

(中国科学院自动化研究所模式识别国家重点实验室·北京, 100081)

摘要:知识获取是专家系统建造过程中最重要的环节之一,本文根据高炉炉况知识的特点,采用背景知识学习算法、归纳学习算法,实现了高炉专家系统知识的实例学习。

关键词:高炉;专家系统;实例学习

1 前 言

高炉专家系统是基于传感器型的在线实时专家系统^[1],在高炉运行过程中产生大量实例,高炉专家系统是通过大量生产实例进行统计分析,从而实现规则提取的.实例学习是专家系统知识学习中最有成效的学习类型^[2],它是通过对大量实例进行归纳,得出事物的规律性知识的.实例学习涉及到两个空间^[3],即:由所有实际数据构成的例子空间和由全部一般规则构成的规则空间.本文采用实例学习来进行高炉专家系统的知识获取.

2 高炉专家系统的知识表示

实例学习涉及到具体的知识表达方法,高炉炉况判断的经验知识多数属于因果性判断,用产生式规则表达比较合适,其语法如下:

〈知识库〉:: = 〈规则〉|〈知识库〉;〈规则〉,
〈规则〉:: = IF〈描述〉THEN〈结论〉〈可信度〉,
〈结论〉:: = 〈概念名〉,
〈可信度〉:: = 〈0 和 1 之间的实数〉.

例如有如下规则:IF 料速下降 AND 透气性指数下降 THEN 悬料.

高炉专家系统知识库是由各种异常炉况判断规则构成的.

3 高炉专家系统的实例学习

3.1 建立启发式规则

对于高炉炉况判断知识,可以用不同的规则组加以表示,这就有个优化问题,最理想的是能找到一组为数最少的规则,它们能覆盖全部正例而不覆盖任何反例.如果找不到这样的规则组,则退而求其次:找一组能覆盖尽量多的正例,且覆盖尽量少的反例的规则,且这组规则的数量要求尽量少.这类问题的算法具有指数复杂性,在实例数大的情况下行不通,必须考虑启发式优化算法^[4].本文采用的启发式优化算法依据以下四条启发式规则:

1) 对于给定的正例集和反例集,为找到较优的规则集 R,学习时按规则逐条进行,每条规则学习时均从一般条件开始,逐步加进具体条件,最后向特殊化过渡.

2) 对于给定的实例集,在归纳某一规则的特殊化过程中,用实例所含的信息指导每一步的特殊化,使特殊化后的规则尽可能多地覆盖正例,消除反例.

* 国家自然科学基金(69874037),浙江大学工业控制技术国家重点实验室开放课题基金(K97M05)及清华大学智能技术与系统国家重点实验室开放课题基金资助项目.

本文于 1996 年 6 月 24 日收到. 1997 年 12 月 15 日收到修改稿.

3) 学习应是增量式的,通过学习建立一个规则集后,如有新的实例集,应在旧规则集基础上加进新实例集提供的信息进行学习而形成一个新的规则库。

4) 最后学到的规则集应能覆盖全部正例。

3.2 背景知识的获取

在实例学习中,专家系统首先要学习背景知识,然后再由背景知识和实例学习规则知识^[5]。在高炉专家系统中,背景知识的来源是实际高炉运行的历史数据及其高炉专家的操作经验,其学习算法如下:

1) 将影响异常炉况发生的工艺参数视为规则的前提部分,高炉异常炉况的类型决定了工艺参数的选取。在高炉中有几十种工艺参数可用于判断异常炉况。

2) 将高炉炉况异常类型视为规则的结论部分,包括悬料、管道、崩料、向凉、向热等多种类型。

3) 背景知识获取的任务是分别得到规则的前提部分和结论部分的描述,以便于进行规则具体的学习。

例如,通过背景知识的学习可获得如下一条规则:

IF 压差上升,透气性指数下降,热风压力上升,冷风流量下降 THEN 悬料。

规则前提的参数种类、逻辑组合及其具体数值由规则的实例学习而得。规则结论可信度及高炉炉况异常发生程度可通过推理机推理而得。

3.3 规则的学习

为了得到最优覆盖的规则集,通过归纳学习建立知识库,采用归纳学习算法进行实例学习,具体算法如下:

1) 从实例集中取一组实例 E,由背景知识中所有规则结论构成结论集 C,规则集 R 取空集;

2) 从 C 中取出一个未取过的规则结论 c;

3) 从 E 中取出所有含结论 c 的实例,构成正例集 PE,而 E 中剩余的实例构成了反例集 NE;

4) 生成一规则 r,其生成原则为:采用统计分析的方法,使 r 尽可能多地覆盖 PE 中的正例,排除 NE 中的反例,从 PE 中除去 r 所覆盖的正例。其生成一条规则 r 的算法如下:

a) 构造一条新规则 r,其前提取空,其结论为当前的规则结论 c,取当前规则的前提集合为 M;

b) 对于规则前提中每个工艺参数记为 P_i ,其中 $P_i \in [V_{i1}, V_{i2}]$,门限值 V_{i1}, V_{i2} 首先由专家经验给出,并可通过自学习模型获得^[6]。

c) 对每个工艺参数的 P_i ,计算:在 PE 中出现 P_i 的实例数,令为 PP_i ,在 NE 中出现 P_i 的实例数,令为 NP_i ,

d) 如果存在 P_i ,使得 $PP_i \geq m_1, NP_i \leq m_2, m_1, m_2$ 为正整数,且 $m_1 \gg m_2$,则继续,否则转 j);

e) 对满足 d) 中条件的 P_i ,构成一个集合 M_k ,

f) 把 M_k 中的所有元素用“或”算符连接在一起,再把连接的结果和规则 r 的前提部分用“与”算符连接在一起;

g) 从 PE 和 NE 中删去满足规则 r 前提部分的正例和反例;

h) 若 PE 为空,算法结束,取构造好的规则 r 返回,否则继续;

i) 取 $M = M - M_k$,转 b);

j) 在满足 $PP_i \geq m_1, NP_i \leq m_2$ 的所有 P_i 中,取使 $|PP_i - NP_i|$ 之值极大的 P_i ,将它和规则 r 的前提部分用“与”运算符连接在一起,并令当前极大的 P_i 为 M_k ,转 g);

5) 若 $PE \neq \emptyset$,取 $\{r\} \cup R = R$,转 4);

6) 若 $PE = \emptyset$, 取 C 中还有未取过的结论 c , 转 2);

7) 结束.

在规则的学习过程中运用了启发规则 1), 2), 在生成一新规则时采用一般化到特殊化的步骤, 逐渐特殊化规则的前提条件. 在每一步的特殊化过程中, 都依据统计信息作为启发式信息, 按尽可能多地覆盖正例而排除反例的原则, 力求完全排除反例. 若在某一步特殊化后, 完全排除了反例或不可能再进一步排除反例时, 则停止特殊化过程.

4 仿真运行

通过对首都钢铁公司 2 号高炉的一组实际运行的历史数据的实例学习, 可得到如下一条炉况判断规则 r :

IF 压差上升率 $\geq 7.0\%$ AND 透气性指数下降率 $\geq 10.0\%$ AND 热风压力 $\geq 2.0\%$ Mpa
AND 冷风流量下降率 $\geq 2.0\%$ THEN 悬料.

这条规则的学习过程如下:

1) 背景知识学习: 通过高炉专家经验及书本知识获得如下“悬料”判断的背景知识:

IF 压差上升, 透气性指数下降, 热风压力增加, 冷风流量下降 THEN 悬料.

2) 规则的学习: 采用归纳学习算法, 即先选择一组实例 E , 其中结论为“悬料”的实例构成正例集 PE , 其余的实例构成反例集 NE , 利用“规则 r 学习算法”得到规则 r .

同样, 可学习到各种异常炉况判断的规则, 从而获得高炉专家系统知识库.

5 结 论

1) 采用实例学习的方法获取高炉专家的规则知识, 并给出了相应的背景知识学习算法和归纳学习算法.

2) 高炉专家系统的实例学习应是动态的, 即通过学习建立了规则集后, 如有新的实例, 应在旧规则集的基础上加入新的实例所提供的信息而形成一个新的规则集.

3) 所采用的方法应用于实际高炉专家系统进行仿真实验, 取得了良好的效果.

4) 所采用的方法适用于其它类似专家系统, 具有普遍意义.

参 考 文 献

- 1 邓守强, 高炉炼铁技术, 北京: 冶金工业出版社, 1991, 467
- 2 田盛丰, 人工智能原理与应用. 北京: 北京理工大学出版社, 1993, 235
- 3 McGraw, K., Briggs, K. H. Knowledge Acquisition; Principles and Guidelines. New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1989, 11-13
- 4 陆汝铃. 专家系统开发环境. 北京: 科学出版社, 1994, 204-206
- 5 Hirsh, H., Noordewier, M. Using background knowledge to improve inductive learning. IEEE Expert, 1994, 9(5): 3-6
- 6 刘金琨. 高炉专家系统的自学习模型. 中国控制与决策学术年会论文集, 济南, 1996, 413-416

Learning from Examples of Blast Furnace Expert System

LIU Jinkun and WANG Shuqing

(The National Laboratory of Industrial Process Control Technology, Zhejiang University • Hangzhou, 310027, PRC)
(National Laboratory of Pattern Recognition, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences • Beijing, 100080, PRC)

Abstract: Knowledge acquisition is the most important link of building expert system. This paper realizes

the learning from examples according to the characteristics of blast furnace conditions by using the algorithms including that of background knowledge learning, inductive learning and incremental learning.

Key words: blast furnace; expert system; learning from examples

本文作者简介

刘金琨 1965年生, 1989年, 1994年, 1997年在东北大学分别取得学士, 硕士和博士学位, 现在浙江大学从事博士后研究. 主要研究兴趣为计算机控制, 智能控制理论及应用, 复杂工业过程建模等.

王树青 1939年生, 教授, 博士生导师. 1964年毕业于浙江大学, 毕业后留校任教, 一直从事于工业自动化方面的教学与科研工作. 主要研究兴趣为自动控制理论及应用, 工业生产过程模型化与优化控制, 计算机控制和集成生产系统.

空间机器人及遥科学技术研讨会 征文通知

为加强我国在空间机器人及遥科学技术领域的研究工作与学术交流, 推动我国的航天事业, 国家 863 航天领域遥科学及空间机器人专家组拟定于 1999 年 8 月 16 日—8 月 18 日在山东省烟台市召开空间机器人及遥科学技术研讨会. 具体事宜如下:

一、征文范围

1. 空间机器人及遥科学技术的发展趋势及战略研究
2. 空间机器人体系结构及系统技术
3. 空间机器人新型结构、灵巧手、驱动装置、视觉及非视觉传感器技术
4. 机器人的实时规划技术及先进的控制技术研究
5. 太空漫游车技术及空间站舱内、舱外机器人系统
6. 适于空间环境机器人的能源、材料、润滑、密封、结构、防辐射和散热等关键技术研究
7. 空间机器人遥操作系统的构成、设计与性能的定量评估方法
8. 多传感器融合集成技术、增强现实及分布式仿真技术, 以及遗传算法、进化计算与软计算等智能处理系统技术在空间机器人及遥科学系统中的应用研究
9. 遥科学实验中的高速数据的处理、传输、存储、安全与保密技术及有效载荷接口平台技术
10. 遥科学中图像的压缩与复现技术、可视化观察技术以及地基通讯网络技术

二、征文要求

论文在国内外杂志或会议上未曾发表过, 篇幅一般不超过 A4 纸 8 页. 论文后面请附不超过 200 字的主要作者简介, 并注明此文投送空间机器人及遥科学技术研讨会, 论文的具体格式请见所附清稿要求.

三、关键日期

1999 年 4 月 15 日前投送符合清稿要求的全文两份(不论录用与否, 恕不退还).

1999 年 5 月 15 日之前发出录用通知.

四、来稿请寄: 北京 100084 清华大学计算机系 863-2-4 办公室钱宗华老师收

联系电话: (010)62788939(O), (010)62784458(H)

传 真: (010)62771138

电子信箱: sfc@s1000e.cs.tsinghua.edu.cn

国家高技术(863)航天领域
遥科学及空间机器人专家组
1998 年 11 月