

基于规则的专家系统时间估计研究

潘爱华 柳春图

中国科学院力学所 (北京 100080)

摘要 在一些复杂控制系统中,专家系统作为一个决策控制器,满足整个系统的性能需要,因此研究专家系统的推理时间是必要的。专家系统的推理时间与其推理模式、知识库结构等因素有关。针对知识库结构,探讨了基于规则的专家系统的推理时间问题,利用时间齐次马尔可夫链为专家系统知识库建模,并给出了相应的时间估计模型。

关键词 专家系统 实时性 马尔可夫链 推理时间

Time Model in Rule-Based Expert Systems

Pan Aihua Liu Chuntu

(Institute of Mechanics, China Academy of Science, Beijing 100080)

Abstract: In some complex control systems, expert systems as a decisive controller, consist in the whole systems so much more studies on inferring time are necessary for them. Inferring time in expert systems relates to its inference mode, knowledge-base architecture, computer performance and provided languages. This paper takes the knowledge-base architecture as an example to study the corresponding problem of the alignment. At last, Temporally homogeneous Markov chain is used to model for knowledge-base. Time assessing mathematics model is given, which can provide proof for the complex control system.

Keywords: Expert Systems, Real Time, Markov chain, Inferring Time

1 引言

目前所设计的许多专家系统,由于一般是起咨询作用,通常处于离线状态下工作,因此较少考虑专家系统的推理时间^[1]。而在一些复杂控制系统中^[2-5],专家系统是作为决策控制器,满足整个系统的性能需要,这样推理时间就得要考虑了。专家系统的推理时间与其自身推理模式、知识库结构、计算机性能以及专家系统支持语言等因素有关^[6]。下面是以基于规则专家系统为对象推理时间估计模型。由于知识库结构是与知识库的丰富程度,知识库的组织方式等有关,因此下面将具体研究推理时间估计模型与知识库中知识基的数量、排列及推理模式的关系。

在基于规则的专家系统中,其推理原理如图1所示。一个问题的求解过程是这样的:当给定一个条件时,推理机在知识库中,从头一条将它与各知识基进行比较,如果匹配,则完成该步推理,且继续进行下一步的推理,若在整个知识库无匹配的知识基,则结束推理,这样使问题得到求解。

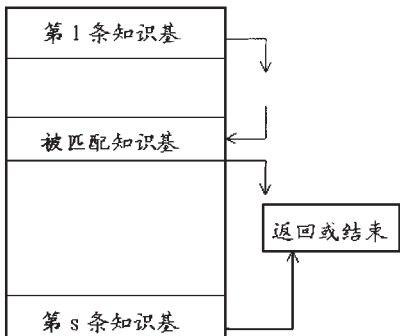


图1 基于规则专家系统推理模式示意图

2 连续推理模式专家系统时间估计模型

知识库中的知识基由事实或规则所组成,若干多条知识基构成了知识库。设某专家系统的知识库由S条知识基所组成,分别用 $K_i, i \in S$ 表示,其中 $S = \{1, 2, \dots, s\}$,知识基在知识库中的排列顺序为 $\{K_1, K_2, \dots, K_s\}$, i 的序号就是知识基的依次排列顺序。对应知识基推理所使用的时间为 $(\tau_{K_1}, \tau_{K_2}, \dots, \tau_{K_s})$,设知识推理过程中知识基首次被使用的概率分别为 $\{p_1, p_2, \dots, p_s\}$,各条知识基间的关联关系可以用状态有限的马尔可夫链来表示。并且,一般情况下不考虑知识的推理模式受时间影响而产生的差异,因而该马尔可夫链又是齐次的,其转移关系就可以用一步转移概率矩阵 $P = (P_{ij})$ 来表示,如式1所示。其中 P_{ij} 表示从第 i 条知识基推理到第 j 条知识基的条件概率。

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1s} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2s} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{s1} & P_{s2} & \dots & P_{ss} \end{bmatrix} \quad (1)$$

从图1所示的推理原理可以看出,当 $i < j$ 时,则从 K_i 推理到 K_j 的时间为 $(\tau_{K_j} - \tau_{K_i})$,当 $i > j$ 时,则从 K_i 推理到 K_j 的时间为 $(\tau_{K_i} + \tau_{K_j} - \tau_{K_i})$,用一个统一的式子表示为:

$$\tau_{ij} = \begin{cases} \tau_{K_j} - \tau_{K_i} & i < j \\ \tau_{K_i} + \tau_{K_j} - \tau_{K_i} & i > j \end{cases} \quad (2)$$

下面进一步分析知识推理时间估计数学模型:

当推理步数 $\mu=1$ 时,其平均推理时间 \bar{T}_1 为:

$$\bar{T}_1 = \sum_{i=1}^s p_i \cdot \tau_{K_i} \quad (3)$$

当推理步数 $\mu=2$ 时,其平均推理时间 \bar{T}_2 为:

$$\begin{aligned} \bar{T}_2 &= \sum_{i=1}^s (p_i \cdot \tau_{K_i} + \sum_{j=1}^s p_i \cdot p_{ij} \cdot \tau_{ij}) \\ &= \sum_{i=1}^s p_i \cdot \tau_{K_i} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s p_i \cdot p_{ij} \cdot \tau_{ij} \\ &= \sum_{i=1}^s p_i \cdot \tau_{K_i} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^i p_i \cdot p_{ij} \cdot (\tau_{K_i} + \tau_{K_j} - \tau_{K_i}) + \sum_{i=1}^s \sum_{j=i+1}^s p_i \cdot p_{ij} \cdot (\tau_{K_j} - \tau_{K_i}) \\ &= \bar{T}_1 + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^i p_i \cdot p_{ij} \cdot \tau_{K_j} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s p_i \cdot p_{ij} \cdot (\tau_{K_j} - \tau_{K_i}) \end{aligned} \quad (4)$$

当推理步数 $\mu=3$ 时,其平均推理时间 \bar{T}_3 为:

$$\begin{aligned} T_3 &= \sum_{i=1}^s (p_i \cdot \tau_{K_i} + \sum_{j=1}^s (p_i \cdot p_{ij} \cdot \tau_{ij} + \sum_{k=1}^s p_i \cdot p_{ij} \cdot p_{jk} \cdot \tau_{jk})) \\ &= \bar{T}_2 + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^j p_i \cdot p_{ij} \cdot p_{jk} \cdot (\tau_{K_i} + \tau_{K_j} + \tau_{K_k}) + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=j+1}^s p_i \cdot p_{ij} \cdot p_{jk} \cdot (\tau_{K_k} - \tau_{K_i}) \\ &= \bar{T}_2 + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^i p_i \cdot p_{ij} \cdot p_{jk} \cdot \tau_{K_k} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^s p_i \cdot p_{ij} \cdot p_{jk} \cdot (\tau_{K_k} - \tau_{K_i}) \end{aligned} \quad (5)$$

同理可得,当推理步数 $\mu=n+2$ 时,其平均推理时间 \bar{T}_{n+2} 为:

$$\begin{aligned} \bar{T}_{n+2} &= \bar{T}_{n+1} \\ &+ \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^j p_i \cdot p_{ij}^{(n)} \cdot p_{jk} \cdot (\tau_{K_i} + \tau_{K_j} + \tau_{K_k}) + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=j+1}^s p_i \cdot p_{ij}^{(n)} \cdot p_{jk} \cdot (\tau_{K_k} - \tau_{K_i}) \\ &= \bar{T}_{n+1} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^j p_i \cdot p_{ij}^{(n)} \cdot p_{jk} \cdot \tau_{K_k} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^s p_i \cdot p_{ij}^{(n)} \cdot p_{jk} \cdot (\tau_{K_k} - \tau_{K_i}) \end{aligned} \quad (6)$$

其中 $p_{ij}^{(n)}$ 为知识基 i 经过 n 步推理到知识基 j 的概率。

所以可推导出式(7):

$$\begin{aligned} \bar{T}_{n+2} &= \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^j p_i \cdot (1 + p_{ij}^{(1)} + p_{ij}^{(2)} + \dots + p_{ij}^{(n)}) \cdot p_{jk} \cdot \tau_{K_k} \\ &+ \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^s p_i \cdot (1 + p_{ij}^{(1)} + p_{ij}^{(2)} + \dots + p_{ij}^{(n)}) \cdot p_{jk} \cdot (\tau_{K_k} - \tau_{K_i}) \\ &+ \sum_{i=1}^s p_i \cdot \tau_{K_i} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s p_i \cdot p_{ij} \cdot \tau_{K_j} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s p_i \cdot p_{ij} \cdot (\tau_{K_j} - \tau_{K_i}) \end{aligned} \quad (7)$$

所以有

$$\begin{aligned} \bar{T}_{n+2} &= \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^j \sum_{l=1}^n p_i \cdot p_{ij}^{(l)} \cdot p_{jk} \cdot \tau_{K_k} \\ &+ \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^s \sum_{l=1}^n p_i \cdot p_{ij}^{(l)} \cdot p_{jk} \cdot (\tau_{K_k} - \tau_{K_i}) \\ &+ \sum_{i=1}^s p_i \cdot \tau_{K_i} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s p_i \cdot p_{ij} \cdot \tau_{K_j} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s p_i \cdot p_{ij} \cdot (\tau_{K_j} - \tau_{K_i}) \end{aligned} \quad (8)$$

下面证明式(8)的普遍性。

证:使用归纳法对式(8)加以证明:

当 $n=1$ 时有:

$$\begin{aligned} \bar{T}_3 &= \sum_{i=1}^s p_i \cdot \tau_{K_i} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^i p_i \cdot p_{ij} \cdot \tau_{K_j} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s p_i \cdot p_{ij} \cdot (\tau_{K_j} - \tau_{K_i}) \\ &+ \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^j p_i \cdot p_{ij} \cdot p_{jk} \cdot \tau_{K_k} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=j+1}^s p_i \cdot p_{ij} \cdot p_{jk} \cdot (\tau_{K_k} - \tau_{K_i}) \end{aligned} \quad (9)$$

满足式(3)的要求。

设当 $n=m$ 时式(3)成立:

$$\begin{aligned} \bar{T}_{m+2} &= \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^j \sum_{l=1}^m p_i \cdot p_{ij}^{(l)} \cdot p_{jk} \cdot \tau_{K_k} \\ &+ \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^s \sum_{l=1}^m p_i \cdot p_{ij}^{(l)} \cdot p_{jk} \cdot (\tau_{K_k} - \tau_{K_i}) \\ &+ \sum_{i=1}^s p_i \cdot \tau_{K_i} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s p_i \cdot p_{ij} \cdot \tau_{K_j} \end{aligned} \quad (10)$$

则当 $n=m+1$ 时有:

$$\bar{T}_{m+3} = \bar{T}_{m+2} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^s p_i \cdot p_{ij}^{(m+1)} \cdot p_{jk} \cdot \tau_{K_k} \quad (11)$$

所以有:

$$\begin{aligned} \bar{T}_{m+3} &= \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^j \sum_{l=1}^m p_i \cdot p_{ij}^{(l)} \cdot p_{jk} \cdot \tau_{K_k} \\ &+ \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^s \sum_{l=1}^m p_i \cdot p_{ij}^{(l)} \cdot p_{jk} \cdot (\tau_{K_k} - \tau_{K_i}) \\ &+ \sum_{i=1}^s p_i \cdot \tau_{K_i} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s p_i \cdot p_{ij} \cdot \tau_{K_j} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s p_i \cdot p_{ij} \cdot (\tau_{K_j} - \tau_{K_i}) \\ &+ \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^s p_i \cdot p_{ij}^{(m+1)} \cdot p_{jk} \cdot \tau_{K_k} \end{aligned} \quad (12)$$

所以:

$$\begin{aligned} \bar{T}_{m+3} &= \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^j \sum_{l=1}^m p_i \cdot p_{ij}^{(l)} \cdot p_{jk} \cdot \tau_{K_k} \\ &+ \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^s \sum_{l=1}^m p_i \cdot p_{ij}^{(l)} \cdot p_{jk} \cdot (\tau_{K_k} - \tau_{K_i}) \\ &+ \sum_{i=1}^s p_i \cdot \tau_{K_i} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s p_i \cdot p_{ij} \cdot \tau_{K_j} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s p_i \cdot p_{ij} \cdot (\tau_{K_j} - \tau_{K_i}) \\ &+ \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^j p_i \cdot p_{ij}^{(m+1)} \cdot p_{jk} \cdot (\tau_{K_k} - \tau_{K_i} + \tau_{K_k}) \\ &+ \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=j+1}^s p_i \cdot p_{ij}^{(m+1)} \cdot p_{jk} \cdot (\tau_{K_k} - \tau_{K_i}) \end{aligned} \quad (13)$$

得到如下:

$$\begin{aligned} \bar{T}_{m+3} &= \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^j \sum_{l=1}^{m+1} p_i \cdot p_{ij}^{(l)} \cdot p_{jk} \cdot \tau_{K_k} \\ &+ \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^s \sum_{l=1}^{m+1} p_i \cdot p_{ij}^{(l)} \cdot p_{jk} \cdot (\tau_{K_k} - \tau_{K_i}) \\ &+ \sum_{i=1}^s p_i \cdot \tau_{K_i} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s p_i \cdot p_{ij} \cdot \tau_{K_j} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s p_i \cdot p_{ij} \cdot (\tau_{K_j} - \tau_{K_i}) \end{aligned} \quad (14)$$

证毕

从式(6)可以看出,知识推理每增加一步所耗费的平均时间

$\Delta \bar{T}_{n+2}$ 为:

$$\begin{aligned} \Delta \bar{T}_{n+2} &= \bar{T}_{n+2} - \bar{T}_{n+1} \\ &= \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^j p_i \cdot p_{ij}^{(n)} \cdot p_{jk} \cdot \tau_{K_k} + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^s p_i \cdot p_{ij}^{(n)} \cdot p_{jk} \cdot (\tau_{K_k} - \tau_{K_i}) \end{aligned} \quad (15)$$

其中 $\Delta \bar{T}_{n+2}$ 为进行 $n+2$ 步推理时所增加的时间,也就是推理第 $n+2$ 步所需要的时间。并且从式(15)可以分析,由于一般情况下 $p_{ij}^{(n)}$ 是 n 的非恒值函数,因而知识推理每一步增加的时间 $\Delta \bar{T}_{n+2}$ 是变化的。

设该马氏链有平稳分布存在,且为 $[\pi_1 \ \pi_2 \ \dots \ \pi_s]$, 那么当推

(下转 108 页)

GRAPHICS 模块。在 FORMS 中嵌入 GRAPHICS 的集成就是采用 SYNCHRONOUS 模式。

(2) 为避免 GRAPHICS 运行时登录到数据库系统时,可以通过参数列表将传递的参数 LOGON 设置为 NO。

(3) 从 FORMS 模块向 GRAPHICS 模块传递的文本参数的值必须是字符串,对于非字符串型的数据,应先用 to_char 函数将其转换为字符类型,再通过参数列表进行传递。

(4) 即使 FORMS 模块向 GRAPHICS 模块只传递一个参数,也要使用参数列表进行参数传递。

(5) FORMS 模块在传递查询语句时使用数据参数。传递数据参数首先应在模块内创建一个记录组 (RecordGroup),将查询语句打包为记录组,再把记录组放到参数列表内进行传递。

(6) FORMS 模块向 GRAPHICS 模块传递参数时,可以将数据参数和文本参数放在一个参数列表中进行传递。

(7) 从主控方向受控方传递参数,受控方要接收的参数名要与参数列表内的参数名相同。

6 小结

虽然 HOST 封装例程提供了一定的集成功能,但由于只能以 SYNCHRONOUS 方式运行,通过命令行传递文本参数,而数据参数不能传递,使得 HOST 的使用受到一些限制。run_product 封装例程是实现 FORMS 模块和 GRAPHICS 模块集成的手段之一。其主要特点是灵活,便于使用。无论是 FORMS 为主,还是 GRAPHICS 为主,都可以按照一致的语法结构进行调用。利用嵌入实现 FORMS 与 GRAPHICS 的集成,在实现多种参数相互传递的同时,还能够实现鼠标事件的传递,用户界面更为友好,但只限于以 FORMS 模块为主的集成。

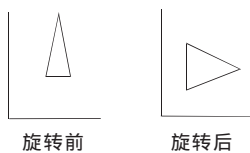
(收稿日期:1999年11月)

参考文献

- 1.孙宏昌等. ORACLE 应用系统开发工具.清华大学出版社,1995
- 2.Oracle Developer/2000.Forms 4.5 Developer's Guide
- 3.Oracle Developer/2000.Forms 4.5 Advanced Techniques Manual
- 4.Oracle Developer/2000.Graphics 2.5 Developer's Guide

(上接 60 页)

运行结果:



5 结论

由该方法的实现可以看出这种光栅化方法具有以下明显优点:

(1) 只涉及对存储器的按位读出和写入操作,而不必进行复杂的数学运算,故执行效率非常高,效果也非常好。

(2) 在进行写操作时,可以先对数组中的值进行一些逻辑

运算(与、或、异或),然后再把结果写入该地址;利用这种方法可以实现许多有用的功能。比如连续两次的异或运算可以把某个图形在屏幕上连续移动而又不破坏屏幕上原有的图形。

(3) 由于光栅化方法可以一次读入,多次写出,且执行效率高,因此,在动画中应用该方法有着广泛的前景。

(4) 这种光栅化的方法对于自然景物(如空中的云彩、树木等)的变换是十分有效的,能够方便地实现动画。

(收稿日期:1999年11月)

参考文献

- 1.Donald Hearn M.Pauline Baker.Computer Graphics C Version. Prentice_Hall International Inc.
- 2.唐泽圣等.计算机图形学基础.清华大学出版社
- 3.迟忠先.实用图形处理技术.大连理工大学出版社

(上接 67 页)

理步数 $\mu \rightarrow \infty$ 时,有:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \Delta \bar{T}_{n+2} = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^i p_i \cdot p_{ij}^{(n)} \cdot p_{jk} \cdot \tau_k$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^i p_i \cdot p_{ij} \cdot p_{jk} \cdot (\tau_k - \tau_{k_i}) \quad (18)$$

所以有:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \Delta \bar{T}_{n+2} = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^i p_i \cdot \pi_j \cdot p_{jk} \cdot \tau_k$$

$$\sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^i p_i \cdot \pi_j \cdot p_{jk} \cdot (\tau_k - \tau_{k_i}) \quad (19)$$

从式(19)可以看出,当推理步数大到一定程度,使该马氏链具有平稳分布时,则每一步推理所增加的时间是相等的。

文中所提出的时间估计模型可以从定量的角度较为准确地反映该类专家系统在知识推理过程中所耗费时间的多少,既可以用于对专家系统的评价,判别其优劣的标准,同时在复杂控制系统也将有很好的分析价值。(收稿日期:1999年11月)

参考文献

- 1.马玉祥,武波.专家系统.成都:电子科技大学出版社,1994
- 2.高玉琦,李友善,马家辰.水泥回转窑的计算机控制.北京:自动化学报,17(2):166-173
- 3.MingRao,Tsung-Shan Jing.Integrated Intelligent Simulation Environment.Simulation,1990,6:291-295
- 4.Charies W.Ruby.A New Approach To Expert Kiln Control.IEEE Cement Industrial Technical Conference,1987,399-412
- 5.I.G.UMBERS,P.J.KING.An analysis of human decision-making in cement kiln control and the implications for automation.Int.J.Man-machine Studies,1980;12(1)
- 6.关守平.实时专家系统技术.长沙:计算机工程与科学,1996,10:18(4)

3 结论