

文章编号:1671-8879(2007)03-0098-05

基于模糊神经网络的摊铺机智能故障诊断系统

司癸卯^{1,2,3}, 王安麟¹, 查志峰², 廖晓明²

(1. 同济大学 博士后流动站, 上海 200092; 2. 常林股份有限公司 博士后工作站, 江苏 常州 213000;
3. 长安大学 道路施工技术与装备教育部重点试验室, 陕西 西安 710064)

摘 要:针对沥青摊铺机故障原因的复杂性与不确定性,综合运用模糊推理、数据库、人工智能、专家系统等理论,完成了沥青摊铺机智能故障诊断系统总体结构设计,建立了基于 BP 神经网络的沥青摊铺机故障诊断系统,利用推理规则模块并结合摊铺机工作状态参数进行推理,能迅速判断摊铺机故障原因,从而保证了摊铺机的正常工作。该系统的研究为沥青摊铺机智能故障诊断系统的开发提供了理论依据。

关键词:机械工程;沥青摊铺机;BP 神经网络;故障诊断;专家系统

中图分类号:U415.521 **文献标志码:**A

Intellective system of fault diagnosis based on BP neural network for asphalt paver

SI Gui-mao^{1,2,3}, WANG An-lin¹, ZHA Zhi-feng², LIAO Xiao-ming²

(1. Mechanical Engineering Post-doctorate Mobile Researching Station, Tongji University, Shanghai 200092, China;
2. Mechanical Engineering Post-doctorate Work Researching Station, Changlin Machinery Company Ltd, Changzhou 213000, Jiangsu, China; 3. Key Laboratory for Highway Construction Technique and Equipment of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: According to the complexity and uncertainty of the paver's fault, using the theories of fuzzy reasoning、artificial intelligence、expert system, an intellective system of fault diagnosis based on BP neural network is constructed in this paper. Meanwhile, the difficulties are solved quickly to utilize reasoning rules, thus the good working condition of paver is guaranteed. And the theoretical basis is given to research and develop an intellective system of fault diagnosis system of asphalt paver. 5 figs, 9 refs.

Key words: mechanical engineering; asphalt paver; BP neural network; fault diagnosis system; experts system

0 引 言

沥青摊铺机在路面施工时,由于作业环境与工况恶劣,负载变化大,时常发生故障,直接影响路面

施工质量及施工进度。因此,在摊铺机上采用设备状态检测与故障诊断技术,实现摊铺机的在线和远程故障诊断,快速准确地确定故障原因,恢复设备正常运行,能够产生巨大的社会效益和经济效益。研

收稿日期:2006-05-16

基金项目:江苏常州常林股份有限公司博士后科研基金资助项目(2005B01)

作者简介:司癸卯(1963-),男,安徽望江人,长安大学副教授,同济大学博士后,E-mail:siguimao718@sohu.com。

研究表明,摊铺机故障的产生并非单一因素的作用,而是多种因素共同作用的结果。这些因素包括具体的作业过程参数设定、摊铺路面环境和沥青混合料的状态等,在每次作业和作业的每个环节中,其变化是不可预知的,因此在摊铺过程中摊铺机产生故障的原因具有不确定性。同时,机器发生故障时所表现出的征兆也可能是处于轻微到严重之间的某一状态,很难通过精确的物理特征量对故障征兆及其表现程度进行精确地描述。并且,由于影响因素的不确定性,以及各因素间相互关系的复杂性,使得故障征兆和原因之间的关系难以确定。随着人工智能技术的发展,模糊技术和神经网络技术由于自身独特的优点,被广泛的应用于故障诊断领域^[1-2]。基于此,本文提出了一种基于模糊神经网络的智能专家系统模型^[3-4]。对摊铺机故障分析诊断过程中确定性的知识采用传统的知识处理方式,即基于规则的

形式表示和推理;而对其中不确定的、模糊的知识采用模糊神经网络来进行处理。在问题求解过程中,针对不同的推理阶段采取相应的推理方法,充分发挥两种推理方法的优势,克服各自存在的不足,从而最大限度的找到问题的解,达到提高分析诊断的效率和准确率的目的。

1 系统的总体结构设计

本系统主要由以下部分组成:人机界面、解释模块、推理机模块、神经网络学习模块、动态数据库模块、知识库模块和知识数据库管理模块等。系统结构^[5]如图 1 所示。

1.1 人机交互界面

用户、知识工程师和领域专家通过人机交互界面与系统进行交流。

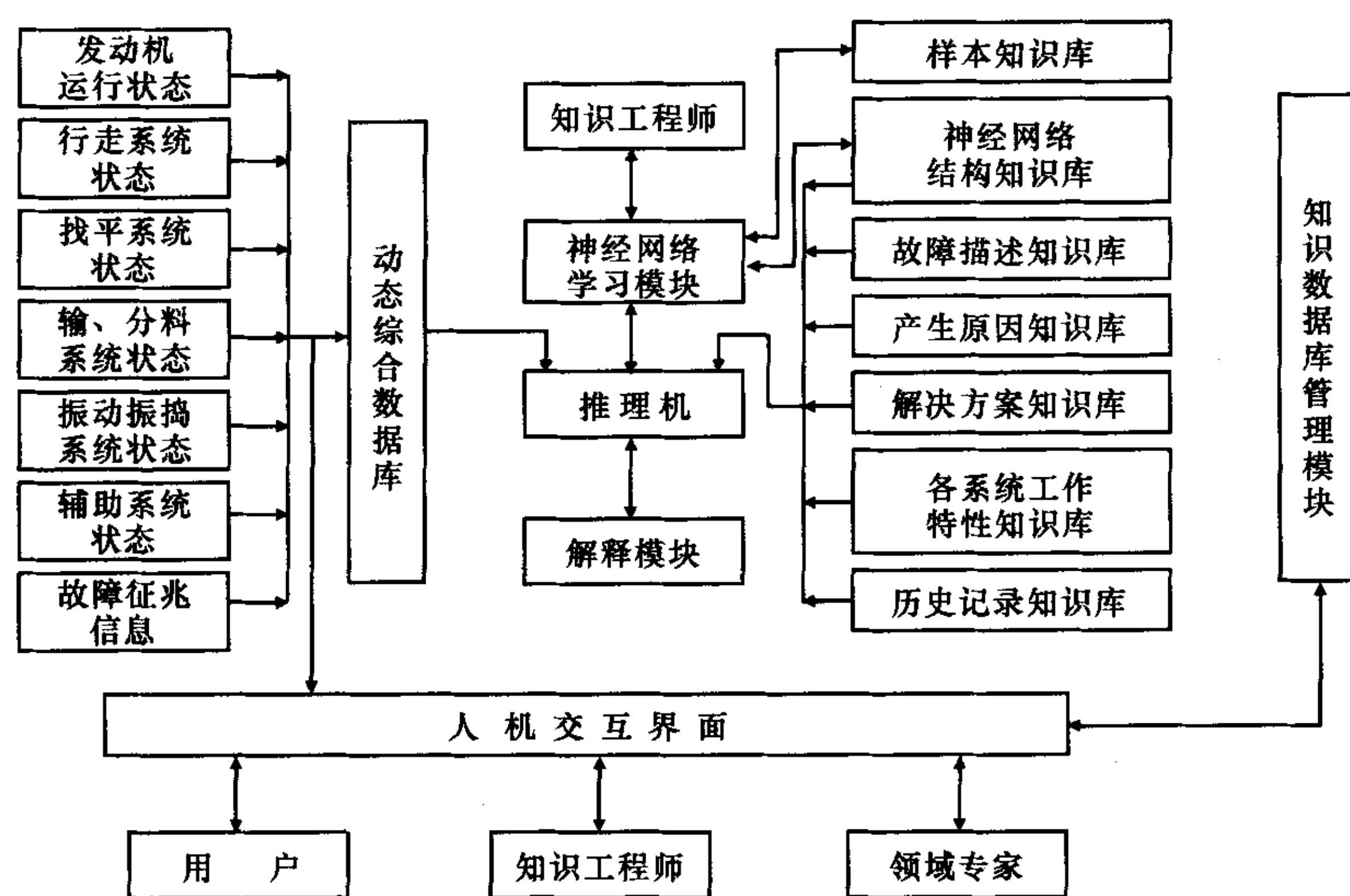


图 1 系统总体结构

知识工程师通过它可以对神经网络学习模块、神经网络结构知识库、样本知识库等进行调整管理、维护更新。用户通过它提出问题并最终得到答案。其中推理机模块结构^[6]如图 2 所示(图中虚线所围部分)。

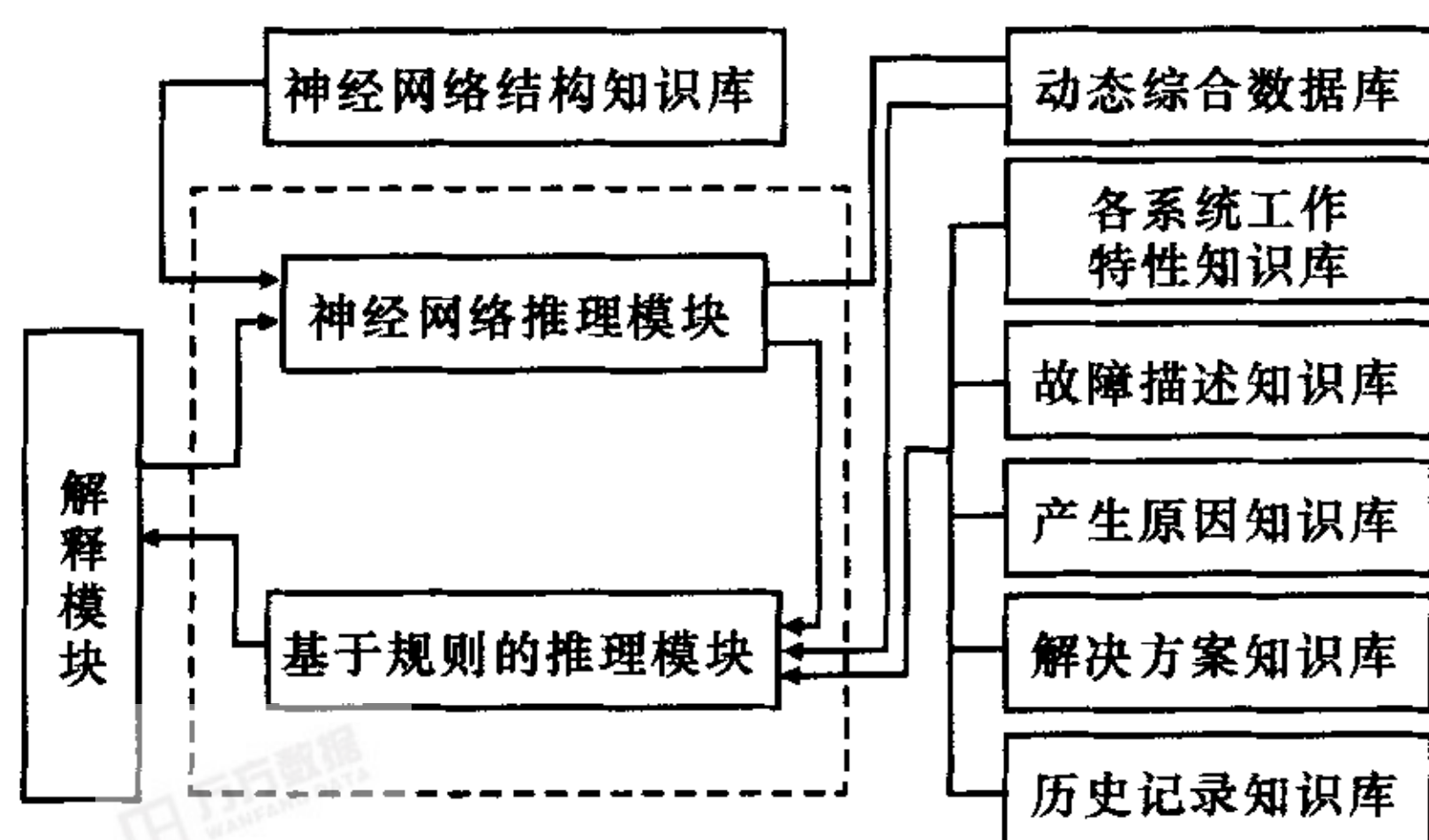


图 2 推理机模块结构

1.2 解释模块

解释模块是系统和用户(包括知识工程师和领域专家)之间沟通的桥梁。它负责将用户输入的故障征兆以及其他相关信息转化为系统能够识别的信息,以及将系统最后的输出结果(包括故障产生的原因、可信度和相应的解决方案)转化为用户能够理解的信息。

1.3 推理机模块

推理机使用系统已经具备的知识,结合动态综合数据库中包含的摊铺过程的具体设定参数信息进行推理,得出产生故障征兆的原因、可信度和解决方案。本系统的推理机包括神经网络推理模块和基于规则的推理模块两部分。“故障征兆—原因”之间的推理使用神经网络模块,“故障原因—解决方案”之

间使用基于规则的推理。

1.4 神经网络学习模块

神经网络学习模块研究如何获取专家知识。学习模块提出所需神经网络的结构(包括网络层数、输入、输出和隐层节点个数)、组织待训练的学习样本、使用神经网络学习算法等。通过对样本的学习,得到所需权值分布,从而完成知识获取。本系统针对摊铺机故障分析诊断的实际,采取模糊逻辑和神经网络结合的方法实现模糊神经网络,并运用 BP 算法实现摊铺机故障分析诊断知识向知识库中的转化。

1.5 知识库

包括样本知识库、神经网络结构知识库、故障知识库、原因知识库、解决方案知识库、摊铺机各系统工作特性数据库和历史记录数据库,分别存放相应的知识。知识库是整个系统具有优越性能的基础。在本系统中,通过查阅大量文献以及结合摊铺机实际摊铺过程,总结摊铺机工作过程中常见的故障征兆、产生的原因和解决方案,并在此基础上确定神经网络的输入节点数、隐层节点数和输出节点数,归纳总结适合神经网络学习的样本。

1.6 数据库管理模块

数据库管理模块具有完善的数据库操作功能,能够实现对知识库的更新、维护和管理功能。本系统通过知识库管理模块,能够实现神经网络样本库及系统其他知识库的查询、添加、删除和修改等功能。

1.7 动态综合数据库

本系统中动态综合数据库主要存放所有与摊铺机故障相关的信息,包括摊铺机工作过程各系统的状态信息,以及用户对摊铺机产生故障的语义描述。在系统推理过程中,动态综合数据库可以为推理机提供摊铺机产生故障时的相关信息,从而能够使系统的推理更加贴合摊铺机的工作实际,使推理结果更加精确。

1.8 故障分析诊断模块

在神经网络完成构建并经过对学习样本的学习后,系统具备了分析诊断能力,故障分析诊断模块能够针对用户的输入,通过神经网络的前向计算和规则推理,得出产生故障的原因和相应的解决方案。

本系统的工作过程可以分为两个部分:①由“故障征兆”通过推理,得出所有可能的“故障产生原因”;②在所有可能原因的范围内,根据神经网络推理结果,结合动态综合数据库中的信息,推理出符合摊铺机实际作业过程的故障成因,并由此结果推理“解决方案”。第一部分主要由模糊神经网络来完成

推理;第二部分则是基于规则的推理。

2 神经网络推理模块的建立

模糊神经网络是在神经网络中引入模糊逻辑,使其具有直接处理模糊信息的能力。它有多种形式,其中的一种形式是在一般 BP 神经网络的基础上构造模糊 BP 神经网络,即在一般 BP 神经网络的输入层之前和输出层之后分别加了一层模糊化层,其结构如图 3 所示。

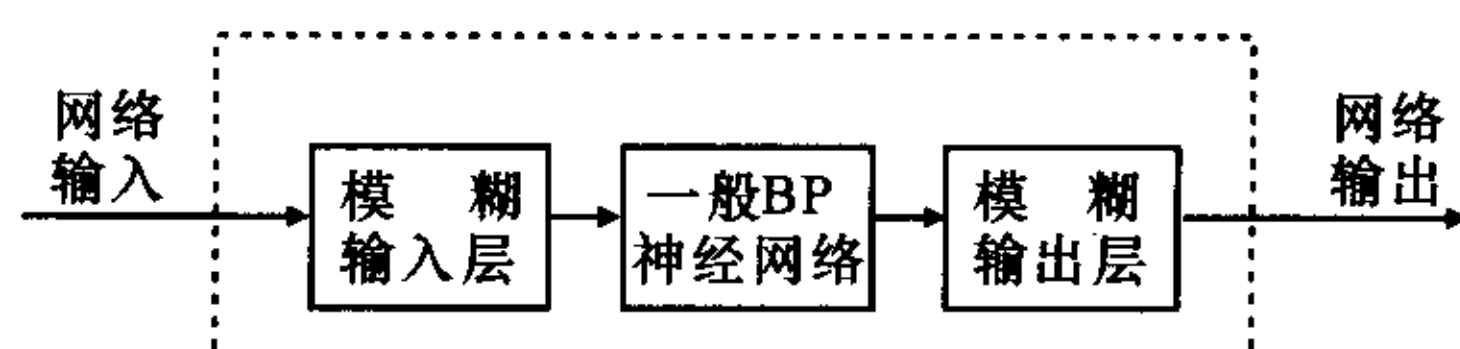


图3 模糊神经网络一般结构

本系统以一般 BP 神经网络为基础,结合摊铺机故障分析诊断的实际情况,构建了模糊 BP 神经网络模型,其输入、输出层都采用模糊量。整个网络由 5 层组成,分别为模糊化层、量化输入层、隐含层、量化输出层和去模糊化层,网络模型^[7-8]的结构如图 4 所示。

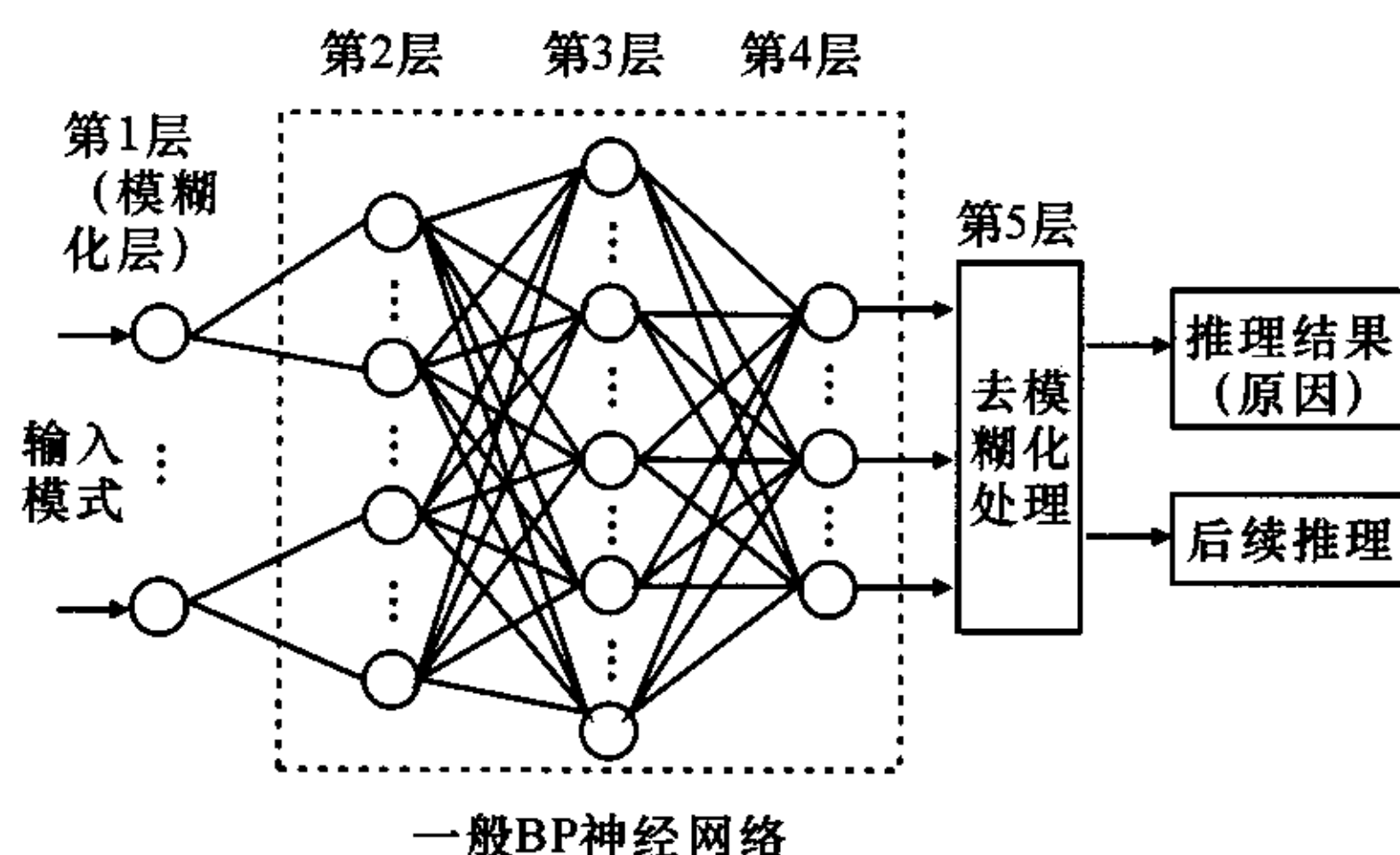


图4 模糊 BP 神经网络结构模型

第 1 层:模糊化层。这一层主要是将用户输入的缺陷征兆表现程度进行模糊量化处理,通过对摊铺机故障表现程度的分析,确定描述故障的语义量为(非常严重、很严重、比较严重、一般、轻微、无)6个,分别用隶属度(1、0.8、0.6、0.4、0.2、0)作为对应征兆表现程度的模糊化量值。

第 2 层~第 4 层:对应于一般 BP 神经网络中的输入层、隐层和输出层。

第 5 层:去模糊化层。主要对神经网络第 4 层的输出值进行去模糊化处理。例如,可以采用如下的去模糊化原则,设 OutLayer1 为第 4 层的输出值; OutLayer2 为第 5 层的输出值:

$$\text{OutLayer2} = \begin{cases} \text{确定原因} & \text{OutLayer1} \geq 0.8 \\ \text{可能原因} & 0.5 \leq \text{OutLayer1} < 0.8 \\ \text{排除原因} & \text{OutLayer1} < 0.5 \end{cases}$$

系统神经网络推理模块能够给出所有可能原因

的可信度值,而在实际作业过程中要求能够给出确定的原因,因此系统根据神经网络推理结果,结合实际作业参数,重新对神经网络的推理结果进行基于规则的精确推理,给出最终的输出可信度数值,系统的去模糊化正是在此基础上进行的。

系统在给出以上去模糊化处理后的结果的同时,给出具体的原因,并按其隶属度进行排序。同时,具体的隶属度值将作为后续推理模块中的输入值,进行“故障原因—解决方案”的推理。

对于模糊化 BP 神经网络的训练主要是对第 2、3、4 层构成的网络(即传统意义上的 BP 神经网络)进行训练。

3 规则推理模块的建立

规则推理^[9]主要包括两个部分:一是通过对神经网络推理结果进行分析,从而找出符合实际作业过程的故障产生原因;二是由此推理结果找出解决方案。

在系统的实现中,由于神经网络的推理结果是这一部分推理的前提,因此,在总结相关知识的基础上建立若干条规则,规则数与对应原因的神经网络输出节点数相等,并进行编号,使其与神经网络输出节点一一对应。规则推理模块的规则与神经网络输出节点一一对应,可以避免规则匹配中的“匹配冲突”问题,能够克服以往专家系统中因为规则匹配冲突而影响系统求解推理速度和准确性的问题。

同时,规则不仅仅是简单“IF-THEN”关系的罗列,而是包含一定的推理操作的集合。对规则进行这样的处理,可以使程序结构清晰,易于将规则封装成为程序模块,使得规则在推理中的通用性得到提高。在程序中,直接调用规则,并结合相应的系统工作状态参数进行推理,就能够找出符合摊铺机实际作业情况的故障产生原因。

对于摊铺机故障产生原因的解决方案,由于其知识是确定的、易于表达的,因此将其归纳总结,直接对应于相应的故障产生原因,并采用基于规则的知识表示方法直接表达为对应于神经网络输出节点的规则。每条规则的具体形式为:“IF 原因 x 为真”,“THEN 对应的解决方案 x 也为真”。

如果对应于神经网络输出节点的规则被激活,系统将综合动态综合数据库中的摊铺机实际作业过程参数的相关信息,结合知识库中的相应知识进行推理,在这一比较、推理的过程中,系统在找出符合实际作业过程的故障产生原因的同时,也相应的给

出具体的、针对产生故障的各种实际作业参数修改的解决方案。因此,根据神经网络结果推理原因,根据原因推理解决方案这两个步骤并不是相对独立的,而是综合在一起的。推理模块中的规则,均被作为程序模块保存在整个程序中,用于规则推理的知识都以数据表的形式存储于数据库中。

4 推理机制的确定

完备的知识库是整个系统性能优良的保证,但也应认识到合理的推理机制是问题求解的主要手段,因此应该根据摊铺机故障分析诊断的实际情况,确定合理的推理机制,使开发的系统具有高准确率和效率,符合实时作业的需要。

在本系统的开发过程中,神经网络推理模块和规则推理模块均采用正向推理策略,具体步骤为:

- (1)将用户输入的故障征兆进行模糊化处理,并以此作为各子神经网络的输入模式;
- (2)从神经网络结构知识库中读入各子网络的权值矩阵;
- (3)结合各子网络输入层、隐层间的权值矩阵,计算各子网络输入层神经元的输出,并将输出作为隐层神经元的输入;
- (4)结合各子网络隐层、输出层间的权值矩阵,计算输出层神经元的输出值;
- (5)根据输出层神经元的输出值,结合动态综合数据库中的相关信息,进行规则推理模块的推理,确定产生故障的原因,给出可信度,并按可信度进行排序;
- (6)根据最终确定的原因,结合相关信息给出对应于具体原因的合理解决方案;
- (7)综合步骤(5)、(6)的推理结果,通过人机交互界面返回给用户。

系统推理的流程如图 5 所示。

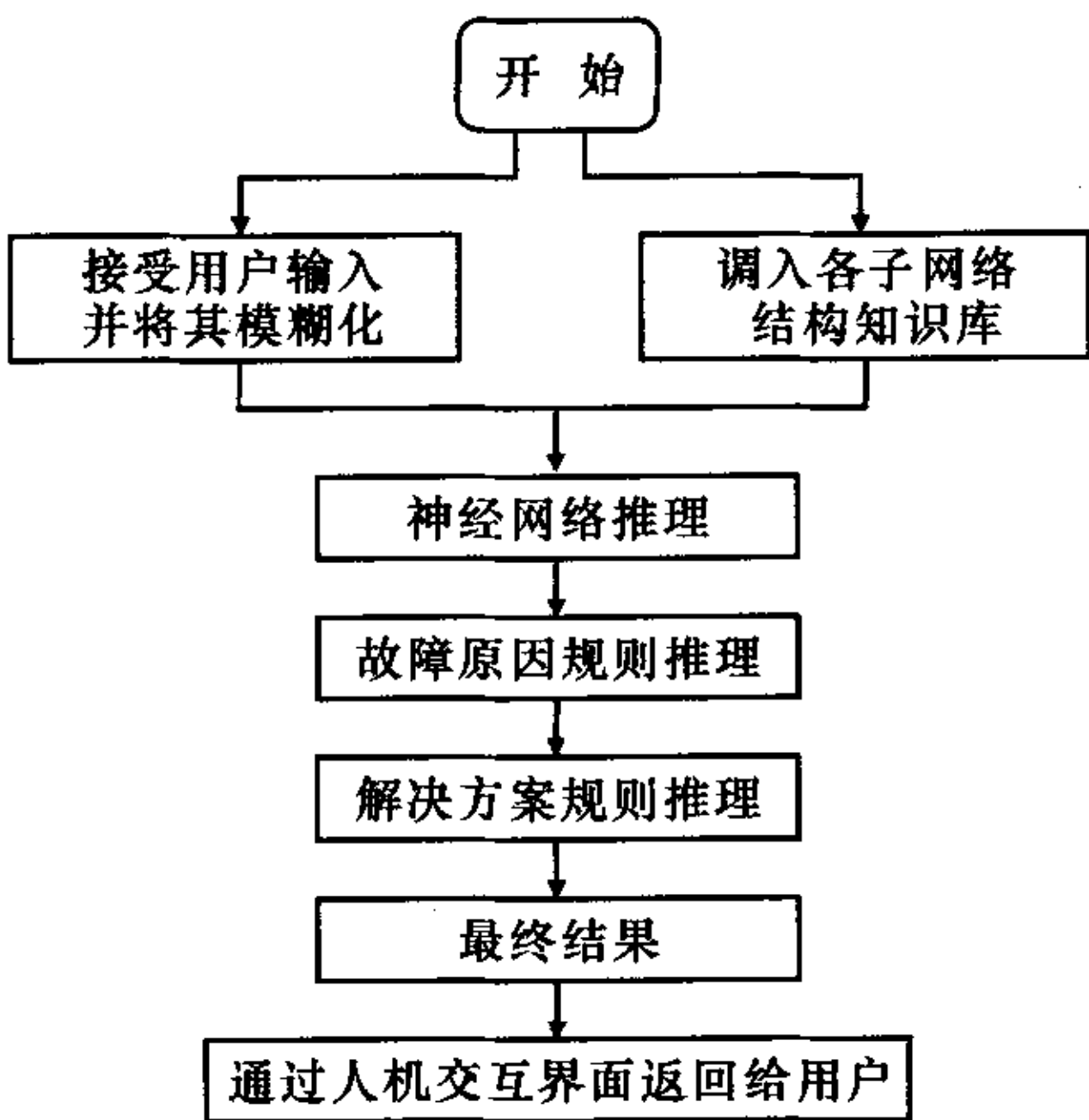


图 5 系统正向推理流程

本系统中,神经网络模块的推理机制与传统的基于逻辑符号的推理机制不同。由于系统的知识库以权值矩阵的形式存在,因此,推理过程由以前的符号运算变为现在的数值运算,从而能够大大提高推理速度。神经网络的正向推理按照一定的算法,通过神经网络所含知识之间关系,不断在问题求解空间进行并行“搜索”(计算),直至得出一个满意的解,此时便对应一个稳定的神经网络输出。神经网络内部状态演变的轨迹与推理过程相对应,神经网络状态演变过程的结束也就对应于推理过程的结束。

同时,神经网络同一层的各个神经元之间完全是并行关系,而且同层内神经元的数目远大于层数,所以从总体上看,它是一种并行推理;而对应于每一个神经网络的输出节点的规则,相互间没有任何干扰和影响,彼此独立,因此其推理也可以看作是并行推理。由于系统采用并行推理取代传统人工智能的匹配搜索、回溯等过程,因而具有更高的推理效率。另外,神经网络的知识表示方法是隐式的,规则推理模块的规则也是与神经网络输出节点一一对应,相互独立,因此能够克服传统专家系统中输入事实与多条规则相匹配时的冲突问题。

5 结 语

(1)综合运用模糊推理、数据库、人工智能和专家系统等理论,建立了基于模糊神经网络的摊铺机故障分析诊断专家系统。

(2)该系统较好地解决了因不确定性因素和模糊性问题给摊铺机故障分析诊断带来的困难,使得操作者能够根据推理结果方便地得到故障的主要成因,进而确定相应的解决措施。

(3)该系统研究与开发能够保证沥青摊铺机可靠工作,从而确保高速公路施工质量和工程进度。

参考文献:

References:

- [1] 张白一,崔尚森. 基于 Web 的汽车故障检测专家系统的设计[J]. 长安大学学报:自然科学版,2006,26(2):99-102.
ZHANG Bai-yi, CUI Shang-sen. Expert system of diagnosing automobile malfunction based on web [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26 (2): 99-102.
- [2] 张建勋,彭祖胜,李金刚. 模糊数学在机械设备故障诊断中的应用[J]. 筑路机械与施工机械化,2006,23(5):48-49.
ZHANG Jian-xun, PENG Zu-sheng, LI Jin-gang. Applications of fuzzy mathematics in mechanical fault diagnosis [J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2006, 23(5): 48-49.
- [3] 王 政. 基于 BP 神经网络的摊铺机智能故障诊断[J]. 机械工程与自动化 2004,(6):12-15.
WANG Zheng. The asphalt paver intellective diagnosis system based on BP neural network [J]. Mechanical Engineering and Automation, 2004, (6): 12-15.
- [4] 王 欣,苟伟成,焦生杰. 基于 CAN 总线的摊铺机自动找平控制系统[J]. 交通运输工程学报,2006,6(4):57-61.
WANG Xin, GOU Wei-cheng, JIAO Sheng-jie. Auto-leveling control system of paver based on CAN bus [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006, 6(4): 57-61.
- [5] 吴吉平,吴运政,李 冰,等. 摊铺机智能故障诊断技术研究[J]. 株洲工学院学报,2002,16(6):81-84.
WU Ji-ping, WU Yun-zheng, LI Bing, et al. A study on the intellective system of fault diagnosis of the asphalt paver [J]. Journal of Zhuzhou Engineering Institute, 2002, 16 (6): 81-84.
- [6] 方晓斌,何 勇. 基于模糊神经网络的汽油发动机故障诊断专家系统的研究[J]. 上海交通大学学报:农业科学版,2001,19(2):105-106.
FANG Xiao-bin, HE Yong. A study on fault diagnosis expert system of gasoline engine based on fuzzy neural network [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University: Agricultural Science Edition, 2001, 19(2): 105-106.
- [7] 张苗苗,谢剑英,方 敏,等. 基于模糊神经网络的智能诊断系统的研制[J]. 计算机工程,1999,25(3):53-54.
ZHANG Miao-miao, XIE Jian-ying, FANG Min, et al. The intellective diagnosis system based on neural and fuzzy method [J]. Computer Engineering, 1999, 25 (3): 53-54.
- [8] 宋红英,纪 威,李 波. 基于模糊神经网络的发动机故障诊断专家系统研究[J]. 山东内燃机,2004,(5):9-11.
SONG Hong-ying, JI Wei, LI Bo. A study on fault diagnosis expert system of engine based on fuzzy neural network [J]. Shandong Internal Combustion Engine, 2004, (5): 9-11.
- [9] 胡志刚. 基于模糊神经网络的路面施工机械故障诊断专家系统[D]. 长沙:中南大学,2005.