

嵌入式故障诊断专家系统开发平台的实现

李继平¹ 赵菡¹ 凌志浩¹

摘要

介绍了适用于嵌入式智能故障诊断专家系统的开发平台的功能需求和基本框架,分析了开发平台人机界面的组成以及各组成部分数据对象的抽象方案,给出了平台内部核心部分的构成和实现方法,最后说明了嵌入式故障诊断专家系统的应用模式.

关键词

专家系统;推理机;智能算法;嵌入式系统

中图分类号 TP206

文献标志码 A

0 引言

Introduction

嵌入式的现场专用控制系统通过控制设备集中进行生产控制,设备及控制系统的安全性、可靠性、有效性对生产过程至关重要,一旦发生故障,会降低生产的效率和质量,甚至导致灾难性的人员伤亡.如何在设备运行过程中随时了解设备的运行状态,以避免重大故障的发生并降低设备维修费用成了人们越来越关心的问题^[1].因此,若能在嵌入式现场控制系统中增加在线故障诊断功能,有效地对其进行故障诊断,保证其运行正常,将会使得控制系统的应用效果更加出色,设备工作效率大大提高,产品的性能和层次更加优化和提升.

由于现场控制系统是以嵌入式控制芯片为核心的控制系统,其使用、维护和检修涉及计算机、自动控制过程和机电设备等多个技术领域,故控制系统的维护具有极强的专业性和较高的技术难度,当企业中高水平的控制技术人员缺少时,控制系统的维护就难以到位,进而影响设备的开工率.而嵌入式故障诊断系统开发平台则可帮助企业解决这一难题,该平台能够汇集控制系统的状态数据和专家维护经验,生成一套针对具体设备的嵌入式故障诊断专家系统,该系统即能集成到控制系统之中,同常规控制过程一起在资源受限的嵌入式系统中运行,并且不影响系统正常控制性能,也可以独立于常规的控制之外单独运行.

1 开发平台的功能需求和基本组成

The functional requirements and system architecture of the developing platform

1.1 平台的功能需求

本平台中故障诊断方法是建立在专家系统的之上,因此,平台开发过程也应围绕专家系统的核心模块进行.如何实现可在资源受限的单片机中高效运行的专家系统是平台开发的基本目标.

通常,专家系统的核心包含数据库、知识库和推理机 3 个部分^[2].

1) 数据库.反映当前系统状态数据的集合,用于存放推理过程中所需的各种初始数据,其来源为控制系统内部数据和传感器输出.

2) 知识库.推理规则的集合,包括控制系统故障诊断方案中基本

收稿日期 2009-05-30

资助项目 上海市重点学科建设(B504)

作者简介

李继平,男,硕士,主要研究基于嵌入式智能的故障诊断系统.lijiping0709@163.com

赵菡(通信作者),女,讲师.lutus@ecust.edu.cn.

¹ 华东理工大学 信息科学与工程学院,上海,200237

规则的集合和复杂问题的样本集合。

3) 推理机. 实际问题求解的核心执行机构,它根据当前数据库和知识库进行推理,输出诊断结果,主要包括基于产生式规则的推理引擎和用于模式分类的多种人工智能算法。

由于设备的多样性,导致数据库和知识库的多样性.因此,系统需要提供灵活的数据库管理和知识库管理机制,而生成的专家系统代码最终要在单片机中实时运行,不仅需要提供实时、有效的推理机制,同时又不能影响常规的测试、控制功能。

1.2 平台的基本组成

根据平台的功能需求,可以把系统的开发分为PC端和嵌入式设备端两部分:PC端用面向对象语言编写,主要实现数据编辑、知识编辑、系统配置和代码生成等功能;单片机端用高效的C语言编写,主要实现推理引擎.系统的框架如图1示意,包括人机界面、系统描述器和代码的生成器,同时针对具体的CPU,进行推理引擎和算法的仿真运行、编译和下载。

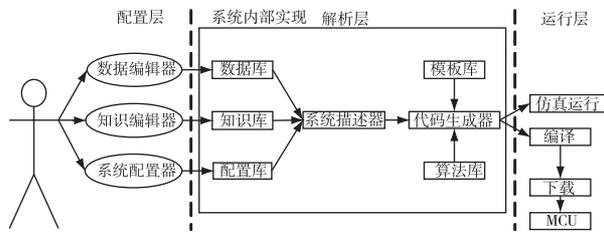


图1 开发平台框架

Fig. 1 Architecture of the developing platform

1.3 系统的开发工具链

由图1可以看出,系统的开发主要分为两部分:一部分负责各种对象编辑器、配置器、描述器和生成器的开发,使用具有极好面向对象特性的编程语言为C#,开发环境为Visio Studio 2005;另外一部分负责底层算法的开发,选择效率更高的C语言来开发,开发工具为ADS1.2.最后通过交叉编译过程实现代码的编译和下载。

2 开发平台人机交互模块的实现

The realization of the human interface module

2.1 数据编辑器的实现

针对开发需求,针对制造业设备的常用数据进行抽象,以便于提取出对故障诊断有效的信息,初步将诊断数据抽象为如下4类:

1) 瞬态数字量. 主要是控制系统中系统的快速执行的逻辑量和逻辑序列,主要由PLC控制量和设备的输出组成。

2) 瞬态模拟量. 如现场工况的温度、压力等数据,主要由相关的传感器采集。

3) 时序数据序列. 主要是具有一定规律的模拟量间隔采样数据数字化之后时间序列。

4) 多维数据序列. 主要是由多个瞬态模拟量构成的数据序列,为系统进行模式分类的输入。

在定义诊断系统中的数据时,同时定义相关的预处理规则,如对模拟量进行模糊化、归一化处理等,对数据预处理后,应用于系统的推理引擎,进而实现设备的故障诊断

用户在使用开发平台时,首先在平台中建立诊断数据库,并对相应数据进行相应的模糊化参数和阈值进行设计,完成后进行数据唯一性检查,并生成描述文档。

2.2 规则编辑器的实现

2.2.1 故障信息的分类

针对故障的特征是否明显和判定的方法是否明确,把系统的故障抽象为4类:

1) 基本故障. 系统的快速的逻辑量和逻辑执行序列与预期的输出结果不同,可以通过规则构建的方式来建立故障信息。

2) 组态故障. 系统的传感信号出现异常,明确对应系统的某一部件出现故障,通过对传感信号进行简单的模糊化预处理,以提取特征信息进行诊断,构建规则来建立故障信息。

3) 复杂故障. 系统故障的原因和故障的表现没有明确的对应关系,可以通过对大量的故障样本进行训练来生成模式识别引擎,以模式识别的方式来判断故障类型,提供用户相应的提示信息。

4) 运动故障. 系统的某一部件在正常的情况下作有规律的往复运动,当这一部件运动失常时,给出提示信息,这种诊断可以通过特征点的曲线拟合来实现。

诊断系统的故障库在设计初期并不能包括所有类型的故障,只能建立已知的明显的故障的信息.当前系统的故障库为 $FDB = (f_1, f_2, \dots, f_N)$,当系统发生未知的情况 f_a 时,由用户做出决策,把未知情况列入故障库,使得 $FDB = \{f_1, f_2, \dots, f_N\} \cup \{f_a\}$,这样,系统经过一段时间的运行后,故障库的信息集合会越来越丰富,随着设备的生产运营,能够最大化的

覆盖设备的故障空间.

2.2.2 故障的处理方法

根据系统的数据抽象和故障抽象,可以把故障的处理方法大体分为2类:

1) 基本故障和组态故障,采用产生式规则的形式表示,采用基于规则推理引擎来输出诊断结果;

2) 对于时序数据和复杂的多维数据,采用规则推理引擎和人工智能算法结合的推理方法,根据实际的输入,进行模式分类并输出诊断结果.

用户通过调用已经建立好的数据库中的数据,来建立基于经验的产生式规则,包括规则的条件集合和结论,最后生成规则库描述文档.

2.3 系统配置器的实现

系统配置器主要实现系统核心参数的配置,如通信配置、CPU 组态配置和推理模式配置等.

1) 通信配置. 专家系统在嵌入式环境中运行时,需要采集来自设备和控制系统的数据,因此需要同其他的 CPU 或外设进行通信. 通信采用 Modbus 协议,需要设置波特率、校验方式及缓冲区等参数,同时,对数据库中的数据进行索引设置,这一点对智能故障诊断专家系统的正确运行至关重要.

嵌入式环境的通信缓冲区采用根据数据类型分区的方案,这样既便于推理机访问数据,又便于同其他的 CPU 或外设通信. 如图 2,系统通信缓冲区分为 4 块:位区、字节区、整数区和浮点数区,其中缓冲区最高位为交互标志,为 1 时表示诊断模块读取数据完毕,外界 CPU 或外设可以写入新的数据;为 0 时表示外界 CPU 或外设写入数据完毕,诊断模块可以调用数据进行诊断.

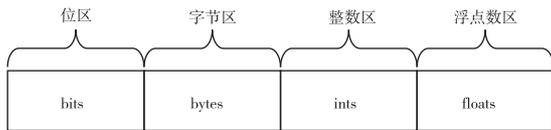


图 2 数据通信缓冲区的组成

Fig.2 The composition of the data buffer

2) CPU 配置. 主要配置采用的嵌入式处理器类型及其工作参数,如工作频率、堆栈大小等.

3) 推理模式配置. 根据设备的运行要求,可以把专家系统的推理模式分为实时推理和非实时推理,实时推理可以通过操作系统策略来调度,非实时推理可以通过通信或者人工来触发,应用何种推理模式与嵌入式智能故障诊断专家系统在单片机中的应用模式有关.

3 开发平台内部核心模块的实现

The realization of the core module of the platform

3.1 系统描述器的实现

用户在针对某一类设备建立了相应的数据库、知识库和配置库之后,将由系统描述器对当前工程进行描述,生成对应的 XML 文件,由于 C#语言具有很好的面向对象特征,如果在建立各类对象库时采用规范的面向对象模式,对对象的公共属性进行标记,则很容易将对象序列化之后以 XML 文档的格式保存,系统描述器的工作原理如图 3.

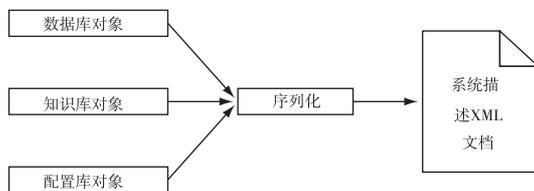


图 3 系统描述器工作原理

Fig.3 Working principle of the system descriptor

3.2 代码生成器的实现

系统最终的模式识别引擎需要在下位机运行平台运行,因此,上位机需要能够生成目标 CPU 的可执行代码,需要使用交叉编译技术,代码生成器是根据系统描述器的输出,对当前工程的 XML 描述文件应用 XSLT 模板进行解析,从而生成下位机的运行代码,代码生成器的工作原理如图 4^[3].

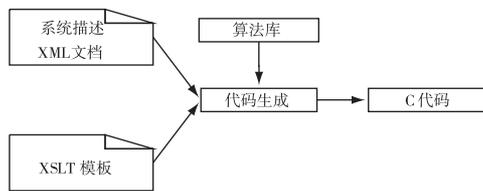


图 4 代码生成器工作原理

Fig.4 Working principle of the code generator

不论何种类型的单片机,开发平台所生成的智能专家系统的代码的结构是一致的,主要包括初始化层、解析层、通信层、推理层和输出层,只要定义好 XSLT 模版,就能自动生成嵌入式目标代码.

3.3 模板库和算法库的实现

3.3.1 模板库的实现

模板库是代码生成器的基础,其形式为 XSLT 文档,主要描述生成具体单片机代码时的转换规则.

3.3.2 算法库的实现

这里的算法是广义的算法,包括对基本数据的诊断规则、推理机和对多维复杂数据的智能诊断方法.

1) 简单规则库的构建. 采用产生式规则,即 If-Then 的表示形式,对于规则本身来讲,一条包括条件和结论两个核心对象,同时包含若干个数据对象和规则的前置操作符^[4].

2) 推理机的构建. 诊断系统运行的核心是专家系统的推理引擎,在设备实际的运行工况中,系统数据状态的更改属于少数. 因此,系统基于 Rete 算法的正向推理机制,在推理前进行条件状态的检查,从而避免执行重复的匹配过程,同时结合模糊处理、曲线拟合和概率神经网络,以数据驱动的机制实现了系统的推理机. 与传统的正向推理相比,系统连续运行时能够极大的提高系统的执行效率,减小了系统推理算法的时间复杂度,这在运算资源受限的嵌入式环境中非常重要^[5].

3) 时序数据处理算法的构建. 这里所说的时序数据,是指设备中的某一参数随时间变化呈现一定的规律,这种规律可以通过某种方式来建模. 系统采用对这种规律的关键点进行多项式最小二乘曲线拟合的方法,通过对样本曲线参数和拟合曲线参数的对比,来判断当前参数的状态^[6].

设时序数的样本分类总数为 N , 样本的输入维数为 n , 根据训练样本计算第 i 多项式参数集合为 $A_i = \{a_{i0}, a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ ($i \in [1, N]$), 系统诊断时测试输入为 $\mathbf{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 在嵌入式环境中, 根据输入 \mathbf{x} 和曲线拟合算法, 实时生成当前状态下的曲线拟合参数 $A_c = \{a_{c1}, a_{c2}, \dots, a_{cn}\}$, 通过计算 $\delta_i = (a_{i1} - a_{c1})^2 + (a_{i2} - a_{c2})^2 + \dots + (a_{in} - a_{cn})^2$, $\mathbf{x}_c \equiv \arg \min_{i=1, \dots, N} (\delta_i)$ 来判断系统当前时序数据的状态, 同时, 可以设置拟合阈值 α , 当 $\min_i (\delta_i) > \alpha$ 时, 扩充当前时序状态的样本库.

4) 复杂数据处理算法的构建. 对于复杂多维数据的处理, 有多种处理的方法. 考虑到单片机的资源受限, 应选择一种计算量相对较小, 占用资源相对较少的模式分类算法, 综合考虑后, 采用概率神经网络, 这种算法不需要训练, 只需要提供模板数据, 而且结构灵活, 可以随时添加新的模板, 便于系统故障库的扩充^[7].

PNN 神经网络包括输入层、模式层、求和层和输出层, 是一个前向神经网络, 输入层不做任何运算,

只把输入向量 $\mathbf{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_p\}$ 输入到网络; 模式层共有 $\sum_{j=1}^M N_j$ 个节点, 其中 M 为样本总类数, N_j 为第 j 类训练样本的数目, 称为 PNN 第 j 类模式层神经元个数, 输入层和模式层的关系为 $\phi_{i,j}(\mathbf{x}) = \frac{1}{(2\pi)^{d/2} \sigma^d} \exp\left(-\frac{\|\mathbf{x} - x_{i,j}\|^2}{\sigma^2}\right)$, 其中 d 为样本空间维数, $\sigma \in (0, +\infty)$ 为平滑因子; 求和层把属于同一类的模式层神经元的输出进行相加并求均值, 即: $f_{k,N_k}(\mathbf{x}) = \frac{1}{N_k} \sum_{j=1}^{N_k} \phi_{i,j}(\mathbf{x})$, 输出层对求和层的值进行比较, 取 $t = \arg \max_k (f_{k,N_k}(\mathbf{x}))$ 为模式类别的输出. 当然, 也可以设置阈值 α , 当 $\max_k (f_{k,N_k}(\mathbf{x})) < \alpha$ 时, 提示用户有新故障出现, 用户干预是否将新故障加入当前故障库.

5) 数学运算算法库的构建. 由于系统在进行诊断的过程中用到许多关于向量、矩阵的数学操作, 因此, 编制一个可裁减的矩阵操作算法库是必要的. 系统除了实现了矩阵的建立及其基本数学运算操作外, 还基于矩阵的基本算法建立了线性方程组的求解方案, 供线性最小二乘曲线拟合算法调用.

4 嵌入式故障诊断专家系统应用模式

The application mode of the embedded fault diagnosis expert system

4.1 采用辅助处理器架构

如图 5 示意, 主处理器采集设备参数, 采用一定的通信协议或缓冲区同诊断处理器进行通信, 通信结束后立即返回执行正常控制功能, 由诊断处理器对传输过来的数据进行计算处理, 并返回给主处理器以及远程终端, 由主处理器或远程终端进行诊断结果的本地显示和远程在线显示. 主要采用的思想是功能分离, 结构分离, 这样故障诊断的部分就由一个独立的处理器来完成, 而主处理器只是执行瞬间

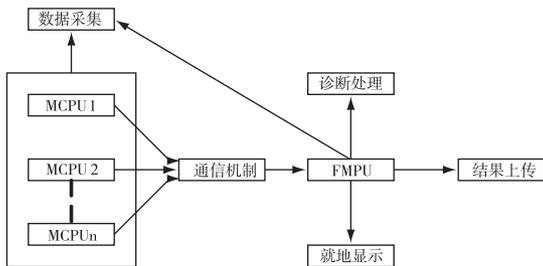


图 5 辅助处理器架构

Fig. 5 Co-processor architecture

的通信任务,对控制过程的影响可以忽略不计,而智能故障处理专家系统则作为一个独立的系统在辅助处理器中运行。

4.2 采用共享处理器的架构

如图6示意,当系统的控制任务具有间歇性,即主处理器具有一定的空间时间分配时,可以把故障诊断模块放到主处理器中,作为嵌入式操作系统的一个常规任务,而这个任务的执行是在系统的非控制时段,由操作系统的任务调度策略控制或者人工触发执行。

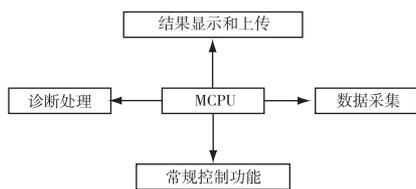


图6 共享处理器架构

Fig.6 Share-processor architecture

5 结束语

Concluding remarks

目前,我国正处于一个工业转型、制造业设备升级换代的关键时期,采用基于嵌入式技术的现场专用控制系统,能够有效改变我国工业控制系统依赖进口的被动局面,显著增强设备的性能,降低控制系统的价格,可以提高制造设备的竞争力。在设计专用控制系统的同时考虑故障诊断,可以提高故障的可诊断性及故障诊断的可靠性,便于将故障诊断系统化。本文提出了在针对嵌入式系统环境下的现场控

制系统的故障诊断系统生成开发平台的研究及实现方案,将专家系统、神经网络和曲线拟合等人工智能方法应用于现场专用控制系统对应的嵌入式故障诊断模块,生成的诊断算法具有嵌入式系统的可移植性和系统架构的通用性,具有很大的现实意义和市场前景。

参考文献

References

- [1] 郑海荣,胡绍林,黄刘生.故障诊断技术研究及其应用[J].自动化博览,2004,21(2):42-45
ZHENG Hairong, HU Shaolin, HUANG Liusheng. The researches on faults diagnosis and their application[J]. Automation Panorama, 2004, 21(2): 42-45
- [2] 史慧,王伟,高戈.智能故障诊断专家系统开发平台[J].计算机测量与控制,2005,13(11):1167-1169,1194
SHI Hui, WANG Wei, GAO Ge. General fault diagnosis expert system development platform[J]. Computer Measurement & Control, 2005, 13(11): 1167-1169, 1194
- [3] Daniel F, Elke P. A concept and implementation of higher-level XML transformation languages[J]. Knowledge-Based Systems, 2009, 22(3): 186-194
- [4] 潘玲琳.基于产生式规则的专家系统的研究实现[J].计算机技术与发展,2007,17(5):66-68,103
PAN Linglin. Application of expert system based on generative formula[J]. Computer Technology and Development, 2007, 17(5): 66-68, 103
- [5] Cen N, Faisal K, Tariq M I. Real-time fault diagnosis using knowledge-based expert system[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2008, 86(1): 55-71
- [6] 徐少丽.曲线拟合法在工程机械发动机故障诊断中的应用[J].内燃机与动力装置,2007,4:7-11
XU Shaoli. The application of curve fitting method in fault diagnosis of engine for construction machinery[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2007, 4: 7-11
- [7] Fabio A, Anna M C, Stefano R, et al. Implementing probabilistic neural networks[J]. Neural Computing & Applications, 1997, 17(5): 152-159

Design and realization of a developing platform for embedded fault diagnosis expert system

LI Jiping¹ ZHAO Han¹ LING Zhihao¹

¹ School of Information Science & Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237

Abstract In the paper, the functional requirements and the system architecture of a developing platform for embedded fault diagnosis expert system are introduced. The abstraction schemes for the data of human-machine interface and its components are analyzed. The composition of the kernel of the developing platform and its realization are given. Finally, the application modes of the embedded expert system generated by the developing platform are illustrated.

Key words fault diagnostics; expert system; inference engine; AI algorithms; embedded system