

基于 ARM 的嵌入式站间自动闭塞控制器硬件设计

郭荣佐^{1,2}, 郭 进¹, 张凤荔³, 王 霖^{2,3}

(1 西南交通大学 信息科学与技术学院, 四川 成都 610031;

2 成都纺织高等专科学校 电子信息与电气工程系, 四川 成都 611731;

3 电子科技大学 计算机科学与工程系, 四川 成都 610054)

摘 要: 针对铁路信号的高可靠性要求, 设计了嵌入式站间自动闭塞系统的体系结构、嵌入式闭塞控制器和控制锁. 详细设计了具有冗余特性的控制器硬件、比较电路和安全锁. 同时, 对本控制器构成的自动站间闭塞系统进行 Petri 网建模及分析.

关键词: ARM; 闭塞; 控制锁; Petri 网

中图分类号: TP391.8; U284.362

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)02-0103-04

Designed the Controller Hardware of the Embedded Automatic Block System Based on ARM-chip

GUO Rong-zuo^{1,2}, GUO Jin¹, ZHANG Feng-li³, WANG Lin^{2,3}

(1 School of Information Science & Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2 Department of Electron Information & Electrical Engineering, Chengdu Textile College, Chengdu 611731, China;

3 School of Computer Science & Engineering, University of Electric Science

& Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: Because of the high demanding of the reliability in the railway signaling field, the system structure in which the redundant problem is studied is designed, a controller of the embedded automatic block is designed and a safety controlling lock principle is also proposed in this paper. This paper detailed designed the hardware of the property redundancy controller, comparator circuit and safety controlling lock. By the way, the Petri net theory is used to model and analyze the system as used the controller.

Key words: ARM-chip; block; safety controlling lock; Petri net

1 引言

铁路信号设备是保障行车安全和提高行车效率的重要基础设施^[1]. 由于铁路信号设备的特殊性, 要求它们必须具有高安全性和高可靠性, 并要求保证故障倒向安全^[2]. 嵌入式站间自动闭塞技术是以嵌入式计算机技术及现代通信技术为基础实现站间自动闭塞, 提高行车安全及单线区段运行的新技术, 是现有继电半自动闭塞系统的替代产品^[3]. 文中根据站间闭塞系统的高可靠性需求, 设计了冗余

结构的基于 ARM 的嵌入式站间自动闭塞系统控制器及切换方法, 并采用形式化方法对系统进行了建模与分析, 验证了由控制器组成的系统的状态转换的安全性及完整性.

2 系统结构及原理

2.1 系统结构

嵌入式闭塞控制器是实现闭塞联锁的核心, 是安全性关键系统, 由 ATMEL 公司推出的工业级微控制器 AT91RM9200 为核心的嵌入式系统构成双

收稿日期: 2008-11-28; 修回日期: 2009-02-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(60673075); 四川省教育厅自然科学基金(07ZB005)

机校核、故障导向安全,即嵌入式闭塞控制器 A 与 B 均为双 CPU 结构.为了保证系统不间断运行,提高安全性,又对嵌入式闭塞控制器进行了双机冗余,即整个系统为 2 乘 2 取 2 结构,两台控制器中,一台为主机,另一台为备机.平时由主机与邻站系统及计轴模块、I/O 模块通信,当主机发生故障时,备机接替主机工作,与邻站系统及计轴模块、I/O 模块通信.由嵌入式闭塞控制器构成的自动闭塞系统结构如图 1 所示.

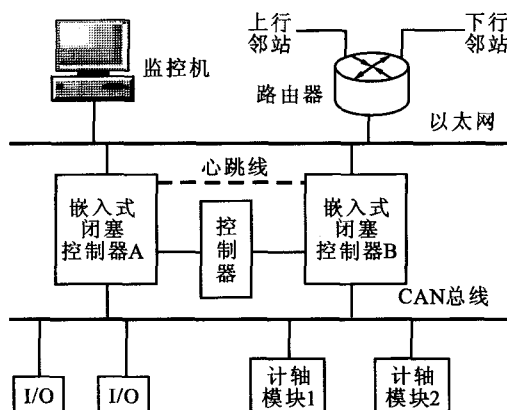


图 1 系统结构图

从图 1 可以看出, A、B 机通过心跳线(以太网或串口)进行数据交换及同步校核,使主机和备机运行状态完全同步,当主机不能正常工作时,主备机实现热切换,不影响闭塞运算的继续执行.

2.2 工作原理

主备运行的状态转移图如图 2 所示.若两台控制器同时上电,则进入竞争主机状态;若上电有先后,则先启动者为主;若另一台控制器已成主机,本控制器转为备机状态.主机通过自检发现自身有故障,在心跳线和备机正常的条件下,经过心跳线通知备机升主,本身转入故障状态.若主机发生故障,不能在规定时间内向备机发心跳线信息及有关信息,备机经核实主机已放弃主用状态条件下,自动转入主机状态.备机自检发现故障,转入故障状态.进入故障状态的设备给出报警信息,经修复后进入竞争状态.

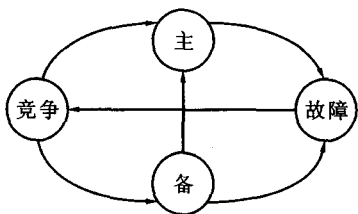


图 2 状态转移图

在主备机进行切换时,一般有两种方式,自动切换和人工切换.

如 A 为主机, B 为备机,当系统满足切换条件时, A 机首先转为故障状态,切断与上、下层网络联系,然后通过心跳线通知 B 机, B 机接到信息后,联系上、下层网络升为主机.整个切换过程自动完成,不需人为干预,称为自动切换过程.

系统未设切换开关,若希望人为指定主备机,只需切断主机开关,备机检测主机关机自动升为主机状态,人工再开启原主机开关,原主机通过竞争,发现已有主机则自动进入备机状态.这个过程称为人工切换.

3 硬件设计

3.1 控制器硬件设计

根据冗余系统硬件构成和系统部分硬件发生故障时,系统仍具有可连续、正确运行的能力要求,闭塞控制器 A、B 采用相同的冗余核心板结构,单控制器核心板硬件包括 MCU、通信模块和比较电路等,具体硬件如图 3 所示.

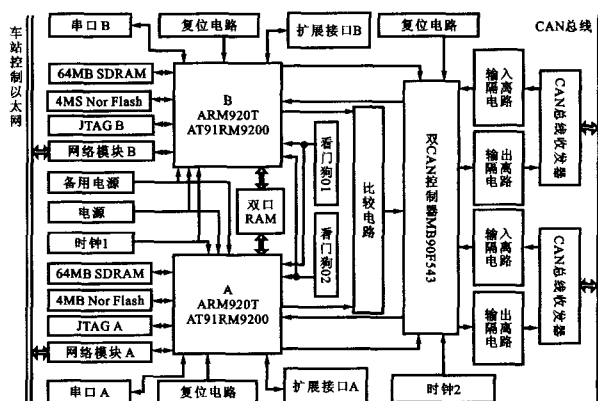


图 3 控制器核心板结构图

在具体芯片选型上, MCU 采用 ATMEL 公司推出的工业级微控制器 AT91RM9200,该芯片集成 ARM920T 芯核,其主频最高可以达到 180MHz.

其中: MCU 间通讯与同步采用双口 RAM 实现;三个复位模块其实是同一个复位电路,即一个复位电路连接到两个 MCU 和 Can 总线控制器,作为复位使用; Can 总线通过 CAN 总线收发器与输入/输出隔离模块连接,接收现场信号状态信息和驱动现场信号设备动作;双看门狗的作用是监视两个 MCU 的运行状态,如果出现异常,则发出复位信号并报警.

正常工作情况下,两 MCU 工作完全相同,当

MCU A、B 通过网络模块接收到监控机的操作命令并依据 CAN 总线接收 I/O 板送来的室外信号设备的状态信息,进行闭塞逻辑运算,并将结果实时送进比较电路中进行校核比较,如果结果正确则驱动 CAN 控制器输出,如果闭塞运算结果不正确则不能驱动 CAN 控制器输出。设计中 CAN 通信控制模块采用热备方式,以保证整个闭塞系统的可靠性。

3.2 比较电路设计

由故障-安全的定义可知,如果电路是故障-安全且具有自测试能力,则电路是完全故障-安全的,因此,设计比较模块时,采用故障-安全思想,其电路原理如图 4 所示。

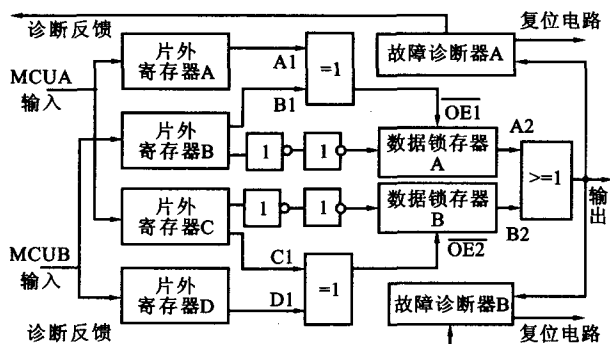


图4 比较电路原理图

控制器核心板的比较模块采用冗余设计。该模块负责接收两 MCU 的运算结果,并对每个时钟周期的总线信号并行比较,若比较结果确认两 MCU 的四次运算一致,则 MCU 控制 CAN 通信电路正常输出驱动命令;若比较电路确认 MCU 运算有误,则通知双 MCU 重新进行运算。另一方面,比较模块还负责对 MCU 工作是否正常进行故障诊断,诊断为正常则反馈 MCU 正常信息,使得双 MCU 进行下一周期逻辑运算,诊断为故障则反馈 MCU 错误信息,MCU 停止运算并由切换电路切换到备机工作,确保了系统的安全性和可靠性。

3.3 控制锁设计

用纯软件切换方式进行切换,当心跳线断线时,可能导致备机误升主机,产生双主机状态,影响信息传输与控制,进入不安全状态,因此,需设计控制锁保障系统安全。安全互锁机制是保障一台计算机处于主状态时,另一台计算机必为备用状态的有效机制,也就是说保证任何时候只有一台计算机为主状态。这由软、硬件协作完成,为每一台计算机设置一个表示主/备状态的开关量标志继电器 AJ 及 BJ, AJ 吸起, A 机为主机; BJ 吸起, B 机为主机。标志继电器采用 JDAC-1700 动态脉冲安全型继电器,当线

圈 2 端输入 24V 动态脉冲,继电器吸起,否则继电器落下。

控制锁的硬件逻辑电路如图 5,其逻辑电路由驱动与输入两部分组成。当 A 或 B 机申请主状态时,发出 A_RQ 或 B_RQ 信号,试图吸起相应标志继电器,但标志继电器线圈电路中串接了对方机器标志继电器的落下条件,形成 $AJ = A_RQ \cdot \overline{BJ}$ 或 $BJ = B_RQ \cdot \overline{AJ}$ 的逻辑条件,即两个继电器状态形成互锁,一个继电器吸起,必然导致另一个落下。软件根据输入电路的标志继电器状态控制本机进入主/备状态,即 $AJ=1$, A 为主机; $BJ=1$, B 为主机。

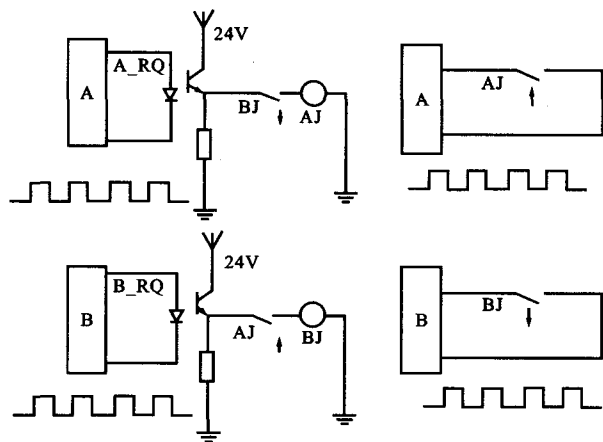


图5 控制锁的逻辑电路

为了提高互锁安全性,当计算机发出申请或为主状态时,软件控制 A_RQ 或 B_RQ 产生动态脉冲信号保证相应标志继电器吸起,一旦主设备故障不能产生动态脉冲信号,标志继电器落下,软件检测到标志继电器的节点断开,控制锁失权。由于机器发生死机或跑飞故障使 RQ 不变化,输出可能为“1”,也可能为“0”,但只要不能产生周期频率输出,相应继电器就无法保持励磁条件,就会失去锁控权。输入也采用动态脉冲检测方法,一旦软件检测到规定频率信号输入,可升为主机,否则不能升级。这种动态输入/输出方法可保证控制锁机制安全性,是符合故障导向安全原则的。

主要动作过程:

(1) 竞争: A、B 机开机启动后,即给出 RQ 信号,试图使自己的标志继电器吸起,同时用动态脉冲法循环检测标志继电器的输入状态,如前接点闭合,本机成为主机,否则,本机为备机,停止 RQ 信号。

(2) 自动切换: 正常情况下,主机 RQ 输出,备机 RQ 无输出,主机故障后, RQ 无输出。标志继电器落下,交出控制权,备机通过互检发现主机故障,

自动产生 RQ 信号,动态循环检测标志继电器的吸起升为主机状态.

上述控制锁可以绝对保证两个标志继电器不能同时吸起,从而能可靠避免两机同时成为主机的非安全状态.

4 Petri 网模型与分析

Petri 网理论是德国 Carl Adam Petri 教授于 1962 年在他的博士论文《用自动机理论通信》中首次提出的一种自动机网状结构模型,它有坚实的数学基础,能恰当处理并发现象(因果上的不依赖性)和非确定性(选择)现象的能力,以及以网状图形表示系统模型的方法^[4]. Petri 网的形式化定义如下:

定义 1 一个 Petri 网结构 φ 是一个五元组, $\varphi = \{P, T, I, O, \mu_0\}$. $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, 是一个有限位置集合, $n \geq 0$; $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$, 是一个有限变迁集合, $m \geq 0$; 位置集合和变迁集合不相交, 即 $P \cap T = \emptyset$; $I: T \rightarrow P$, 是输入函数, 从变迁到空间包的映射; $O: T \rightarrow P$, 是输出函数, 从变迁到空间包的映射; $\mu_0: P \rightarrow N$, 是网络的初始标志, 其中 N 是非负整数集合.

Petri 网是一种特殊的有向图,能够用图形符号表示事件的原因和结果之间的关系,反映系统的状态变化和事件的发展. 在结构图中,位置用小圆圈“ $\odot$ ”表示,变迁用“ $\rightarrow$ ”表示,弧用箭头线“ $\rightarrow$ ”表示,令牌(token)用位置中的小黑点“ $\cdot$ ”表示. 在研究本系统工作及切换过程中,定义 $p_i (i = 1, 2, \dots, 7, 1', 2', \dots, 7', 15)$ 为计算机所处的状态, $t_j (j = 1, 2, \dots, 11, 1', 2', \dots, 11')$ 为计算机完成的动作. 并建立了图 6 所示 Petri 网模型^[5-6].

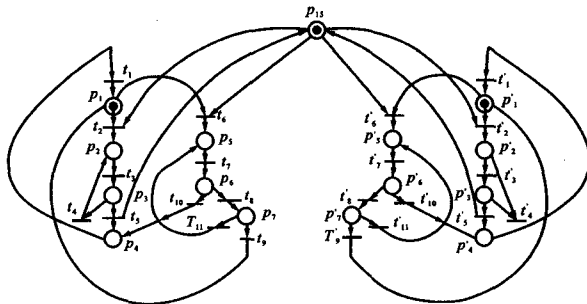


图 6 Petri 网模型

从图 6 和表 1 可以得出,控制锁 p_{15} 是决定 t_2 或 t'_2 点火的条件之一. p_{15} 使两台计算机的主机工作产生互斥,若 t_2 点火, A 机进入主机进程, B 机只能在 t'_6 点火进入备机进程,只有 A 机发生故障, t_5 才具备点火条件,因而 p_{15} 也获得 token, t'_2 点火 B 机

进入主机进程,并使 t_2 无法点火,即 A 机无法进入主机进程.若取消 p_{15} 信号控制,则系统在心跳线断开时, A、B 机在 p_7 及 p'_7 位置无法完成互检或互检结果认为主机故障,会变迁至 p_1 与 p'_1 , 导致双主机状态.因而,设置位置 p_{15} 使系统在变迁 t_2, t'_2 处产生互斥,是保证备机不误升主机的有效方法.通过对图 6 模型进行可达树分析可以得出:① 系统在所有位置均是可达的;② 系统所有变迁均是活性的,不会产生死锁;③ 用控制锁避免了两台机器同时升为主机的情况^[7-8].

表 1 Petri 网模型中的状态及动作

p_1	A 初始化	p'_1	B 初始化
p_2	A 主机状态	p'_2	B 主机状态
p_3	A 主机自检结束	p'_3	B 主机自检结束
p_4	A 维修	p'_4	B 维修
p_5	A 备机状态	p'_5	B 备机状态
p_6	A 备机自检结束	p'_6	B 备机自检结束
p_7	A 备机检查 B 主机是否正常	p'_7	B 备机检查 A 主机是否正常
p_{15}	主/备控制锁		
t_1	A 开机	t'_1	B 开机
t_2	A 升主机	t'_2	B 升主机
t_3	A 主机正常工作自检	t'_3	B 主机正常工作自检
t_4	A 主机正常	t'_4	B 主机正常
t_5	A 主机自检故障	t'_5	B 主机自检故障
t_6	A 变备机	t'_6	B 变备机
t_7	A 备机正常工作自检	t'_7	B 备机正常工作自检
t_8	A 备机自检正常	t'_8	B 备机自检正常
t_9	A 备机检测到 B 主机故障	t'_9	B 备机检测到 A 主机故障
t_{10}	A 备机自检故障	t'_{10}	B 备机自检故障
t_{11}	A 备机检测到 B 机正常	t'_{11}	B 备机检测到 A 主机正常

5 结束语

通过对站间自动闭塞系统的体系结构、嵌入式闭塞控制器和控制锁的设计,为提高闭塞系统的安全性和可靠性,提出了双冗余的闭塞系统体系结构;设计了冗余的嵌入式自动站间闭塞控制器、比较电路和控制锁.同时,对本控制器构成的自动站间闭塞系统进行 Petri 网建模及分析,深入了解了系统的工作机制,在嵌入式站间自动闭塞系统中得到了验证,其实际应用测试结果为控制器 A 和 B 正常切换时间小于 2s,可以保证不影响信号设备的控制效果.

(下转第 110 页)

5 结束语

少数民族文字种类识别是一项非常有意义但也是非常困难的工作.文中对这个问题进行了研究,对每种文字的文本图像进行小波分解,在小波图像上提取小波能量特征及小波能量比例特征,用改进的 KNN 分类器对文字种类进行识别.实验表明,文中方法能够有效识别少数民族文字种类信息,平均识别率达到 96%.

参考文献:

- [1] 王维兰,丁晓青,陈力,等.印刷体现代藏文识别研究[J].计算机工程,2003,29(3):37-38.
- [2] 王华,丁晓青,哈力木拉提.多字体多字号印刷维吾尔文字符识别[J].清华大学学报:自然科学版,2004,44(7):946-949.
- [3] 李振宏,高光来,侯宏旭,等.印刷体蒙古文文字识别的研究[J].内蒙古大学学报:自然科学版,2003,34(4):

454-457.

- [4] 郭海,车文刚,聂娟,等.纳西象形文 WEFT 植入技术[J].计算机工程,2005,31(17):203-204.
- [5] 郭海,赵晶莹.纳西象形文字信息处理平台的开发[J].微计算机信息,2006(22):221-223.
- [6] 唐远炎,王玲.小波分析与文本文字识别[M].北京:科学出版社,2004.
- [7] 李小航,刘渊,刘元珍.基于小波多尺度分析的网络流量组合预测方法研究[J].微电子学与计算机,2008,25(1):130-133.
- [8] 贾可亮,樊孝忠,许进忠.基于 KNN 的汉语问句分类[J].微电子学与计算机,2008,25(1):156-158.

作者简介:

郭海男,(1979-),硕士,讲师.研究方向为少数民族信息处理、模式识别.

赵晶莹女,硕士,讲师.研究方向为少数民族信息处理、模式识别.

(上接第 106 页)

参考文献:

- [1] 陈广存.铁路信号概论[M].北京:中国铁道出版社,1995:2-3.
- [2] 当代中国铁路信号编辑委员会.当代中国铁路信号(1996-2000)[M].北京:中国铁道出版社,2002:70-104.
- [3] 邹少文,郭进,杨扬.微机化站间自动闭塞系统[J].西南交通大学学报,2003,38(4):418-422.
- [4] 袁崇义.Petri 网原理[M].北京:电子工业出版社,1997:7-8.
- [5] 魏敏.基于动态故障检测的铁路信号发码器及其 ASIC 实现[J].微电子学与计算机,2003,20(10):1-3.
- [6] 付军,张汝群,谢玉琼.计轴技术的发展及容错型计轴设

备的应用[J].铁道通信信号,2003(12):28-30.

- [7] 杜军威,徐中伟.联锁系统形式化模型的安全性评估[J].微电子学与计算机,2007,24(8):14-18.
- [8] 郭荣佐,王霖.嵌入式系统原理[M].北京:北京航空航天大学出版社,2008:228-310.

作者简介:

郭荣佐男,(1973-),副教授,讲师.研究方向为嵌入式系统研究、嵌入式信号技术及实现等.

郭进男,(1960-),教授,博士生导师.研究方向为铁路信号控制理论与应用、计算机控制系统等.

王霖男,(1970-),讲师.研究方向为计算机网络与信息安全.