

文章编号:1671-8879(2015)06-0141-04

基于多核异构的工程机械可编程控制器研究

王国庆,郭 森,李 哲,张向伟,殷周扬,穆 东

(长安大学 道路施工技术与装备教育部重点实验室,陕西 西安 710064)

摘 要:为了解决中国工程机械控制器存在的自主知识产权开发环境缺失、硬件系统高成本以及多任务响应较慢的 3 个主要问题,提出了拥有自主知识产权的多核异构低成本工程机械可编程控制器软硬件平台。硬件平台采用基于任务分工的低成本多微控制器模式,组建了运动控制板、自定义增强型 SPI 总线、IO 板、模拟板及中央控制通讯板等硬件功能模块,各功能模块根据需求可以自由组合;软件平台自主设计了 Engineer C 语言及对应的编译器和调试集成开发环境。研究结果表明:设计的文本编辑、图形化编辑、代码自动生成、软件文档自动生成等软件功能模块实现了预期功能,部分达到了微软 VS 的水平;硬件与软件原型系统的联合测试表明该平台可以实现多核异构系统的快速开发与调试,具备进一步工业化的能力。

关键词:机械工程;工程机械控制器;多核异构;增强型 SPI 总线;Engineer C 语言

中图分类号:U415.5

文献标志码:A

Study on multi-core heterogeneous programmable controller system of construction machine

WANG Guo-qing, GUO Miao, LI Zhe, ZHANG Xiang-wei, YIN Zhou-yang, MU Dong

(Key Laboratory of Road Construction Technology and Equipment of the Ministry of Education,
Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: This paper proposes a novel low-cost multi-core heterogeneous development platform of construction machinery controller. The platform structure is from two basic points, one point is the traditional front-end of interrupt service which can directly response the interrupt without switching delay, the other is the division and deployment of multi real-time tasks into four or more microcontrollers. Based on these ideas, we implemented the syntax of a new programming language Engineer C which can dynamically divide the multi tasks and deploy the division into single low-cost microcontroller, then built the hardware prototype of this platform, which consists of the digital signal board, an analog signal board, a central communication board and a motion control board, every board has its microcontroller as CPU and communicates each other by an enhanced SPI bus. To develop user's application, an integrated development environment was implemented too. This IDE has a compiler for Engineer C language, an easy-to-use code-generation expert module, an automatic document generation module and a code debugging module which can simultaneously debug user's code divided and deployed by Engineer C running

收稿日期:2015-06-15

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金项目(CHD2010JC091)

作者简介:王国庆(1972-),男,陕西西安人,教授,工学博士,E-mail:wang_gq@chd.edu.cn。

in four or more microcontrollers. Testing results show the hardware prototype and IDE can be provided as a low-cost controller solution for construction machinery. 6 figs, 16 refs.

Key words: mechanical engineering; construction machinery controller; multi-core heterogeneous; augmented SPI bus; Engineer C programming language

0 引言

工程机械控制系统平台是以工程机械专用控制器为核心,附加各种传感器组成的。其中控制器好比是人的大脑,是工程机械的核心部件之一,它通过传感器感知系统的运行状态,由其内部的控制算法实现用户的预期运动。20 世纪 80~90 年代,PLC 成为国外控制器的主流,但随着工程机械工况越来越复杂,PLC 的顺序控制能力已不能适应这一情况,专用工程机械控制器逐渐成为主流。

专用工程机械控制器的软件和硬件有较大的设计难度^[1]。中国在这方面进行了有益的探索,文献[2]采用 TI-DSP 开发了 PLC 模式的控制器;文献[3]采用软 PLC 技术设计了控制器,同时使用了嵌入式操作系统;文献[4-6]采用基于微控制器及操作系统进行了设计;文献[7]基于国外 codesys 软件进行了控制器硬件开发;文献[8-9]对控制器的架构及安全性分别进行了研究;在控制器集成开发环境(IDE)方面,文献[10-11]分别对可视化编程语言及机器人结构化编程模式进行了研究。由上述研究可以看出,目前硬件开发方面难度已经降低,硬件系统多以采用高速微控制器及嵌入式实时操作系统为主,但此方法存在须使用高成本微处理器和中断响应能力较慢的问题。在控制器开发环境方面,中国的研究几乎没有自主知识产权,是制约控制器国产化发展的一个瓶颈。

为了解决上述 3 个问题,课题组对工程机械控制器的硬件架构和 IDE 系统进行了较为深入的研究^[12-16]。在这些研究的基础上,本文提出了一种具有完全自主知识产权的多核异构可编程控制器系统,采用基于任务分工的多微控制器的前后台模式进行设计,由结构、功耗、功能、运算性能各不相同的多个微处理器负责不同的硬件模块,并通过任务分工和划分将不同的任务自动分配给不同的微处理器,让每一个微处理器处理特定的任务,有效解决了可靠性不足、实时性较差等问题,并实现了控制器的低成本化。

1 多核异构工程机械可编程控制器硬件设计

多核异构可编程控制器的硬件包括中央通讯控制板、数字 I/O 主板、运动控制主板、模拟主板、Diagnose 在线自诊断模块、同步调试器、自定义增强型 SPI 总线、5 块子板、具有供电通讯装置及同步调试总线的底板。4 块主板通过插针安装在具有供电通讯装置及同步调试总线的底板上,分别与自定义增强型 SPI 总线和 Diagnose 在线自诊断模块相连接。Diagnose 模块具备对各主板及子板进行通讯、数字量、模拟量在线故障诊断的能力,当其与 PC 相连时,可以不借助于其他常规设备完成系统的自检。4 块主板可以单独使用(独立态)或通过底板连接实现组合运用(组合态)。5 块子板安装在其对应的主板上,用以对 4 块主板分别进行功能扩展;同步调试器与 PC 机、4 块主板分别相连,用以实现 4 块主板的同步调试。该总体方案具体实现如图 1 所示。

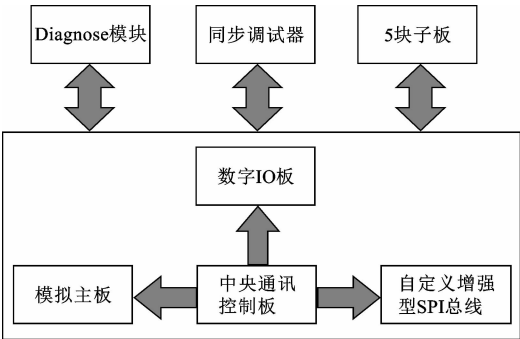


图 1 异构多核控制器的总体设计框

Fig. 1 Multi-core heterogeneous PAC structure

1.1 自定义增强型 SPI 总线和底板

自定义增强型 SPI 总线包括 12 条信号线,分别是数据线、时钟线、片选信号线和中断信号线。该总线克服了现有 SPI 总线仅仅可以单向通讯的缺点,4 块主板之间通过增强型 SPI 总线构成一个整体,实现彼此之间的相互通讯。在工作过程中,从机可以通过中断信号线中断主机的信号,将自身设置为主机,从而 4 块主板之间可以互为主机或者从机,在任意时刻只有 1 块主板作为主机,其他主板只能作为从机,通过中断信号线实现了主机与从机相互中断

的响应式通讯连接。底板主要由供电装置与同步调试总线组成,4 块主板通过插针安装在底板上。

1.2 模拟主板和数字 I/O 主板

模拟主板用于传感器信号采集及模拟量激励输出。模拟主板包括 CAN 总线、RS485 接口、USB 串口、下载调试接口 JTAG、通用串行数据总线 UART、ADC 模拟采集前端调理电路、D/A 电路、模拟主板微处理器、A/D 电路、DAC 数字后端调理电路、24 排端子、继电器输出电路、外扩 24 插针、隔离数字输入输出电路、自定义增强型 SPI 接线端子、组态通讯端子等。数字 I/O 主板具有多路大电流 PWM 输出以控制电磁阀。

1.3 运动控制主板

运动控制主板用于实现步进电机和伺服电机的控制,可以输出±10 V 的模拟量信号以控制伺服电机专用信号的输入(原点信号、正向限位、负向限位等专用信号的输入)。运动控制主板如图 2 所示,由现场总线、RS485 接口、USB 串口、下载调试接口 JTAG、通用串行数据总线 UART、组态通讯端子接口、外扩 24 插针、运动控制主板微处理器、4245 芯片、光耦信号隔离电路、单端转差分、24 排端子和自定义增强型 SPI 接线端子等构成。

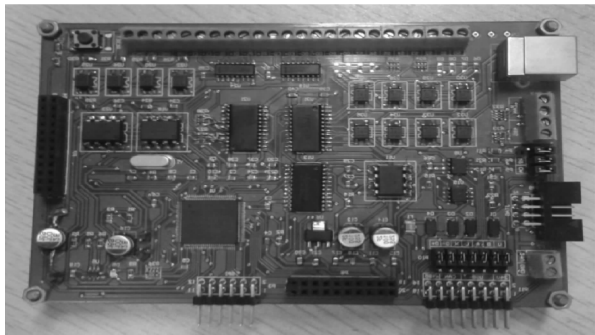


图 2 运动控制主板
Fig.2 Motion control board

1.4 子板和同步调试器

子板包括 DAC 接口扩展电路、ADC 接口扩展电路、I/O 接口扩展电路、步进电机控制接口扩展电路和编码器接口扩展电路。

同步调试器与除中央通讯控制板外的 3 块主板构成了自组织重构系统,保证了多核异构可编程控制器的可重构性和可编程性。PC 机通过 USB 接口连接同步调试器,PC 机通过同步调试器上的同步调试接口 Debugger1、Debugger2、Debugger3 与 3 块主板上的下载调试接口 JTAG 分别相连。

2 Engineer C 集成开发环境设计

为了实现多核异构工程机械可编程控制器的开发与调试,还须为用户提供一个能够对用户程序进行编辑、调试的集成环境,因此自主设计了 Engineer C 语言,该语言以 C 语言为基础,结合 C++/C# 的特点,简化了语法规则,提高了编程的易用性^[14]。为了使用方便,该语言同时提供了普通的文本输入环境和图形化输入环境,还提供了交互式自动代码生成系统。

2.1 文本输入环境和图形化输入环境

从图 3 可以看出,Engineer C 语言具有常用高级编程语言的语法特点。文本输入环境实现了变量提示、成员提示、代码块缩进等类似于微软 Visual Studio 的编辑功能。

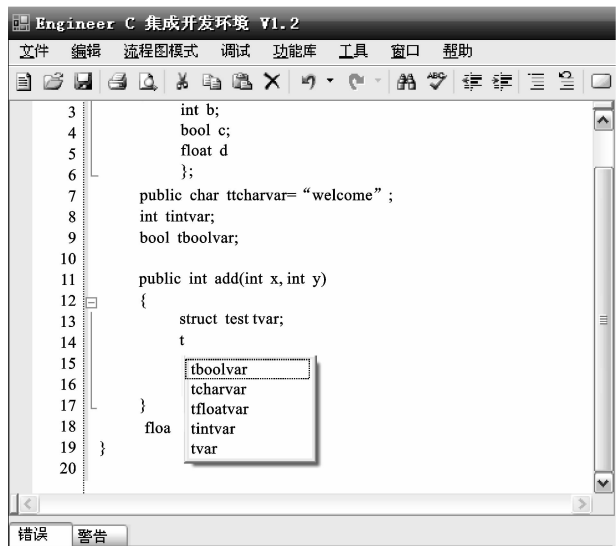


图 3 Engineer C 集成开发环境 V1.2
Fig.3 Engineer C integrated development environment

为了降低使用难度,该集成开发环境也设计了流程图模式的图形化输入环境^[11,15],实现了通过图标拖拽方式形成直观程序的功能,如下页图 4 所示。

2.2 交互式的代码自动生成系统

在以“易用”为中心的设计思想下,为了方便用户使用,Engineer C 集成开发环境提供了交互式代码自动生成系统,该系统可以对用户提交的信息进行分析,并自动转换成 Engineer C 代码,如下页图 5 所示。

2.3 文档自动生成

为了解决软件开发中文档编写工作量大的问题,设计了用户软件文档自动生成系统。该系统能够自动抽取用户在文本中代码行的注释,结合对用

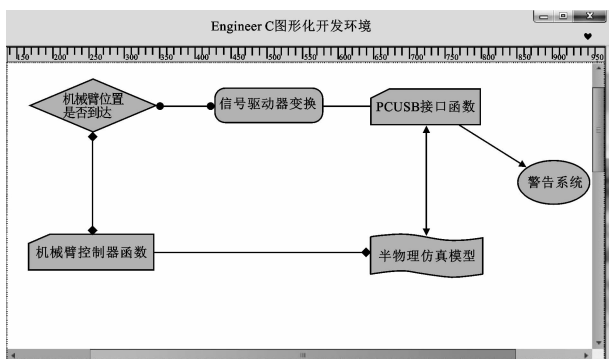


图4 Engineer C 的流程图输入模式

Fig. 4 Flow chat of input mode of Engineer C

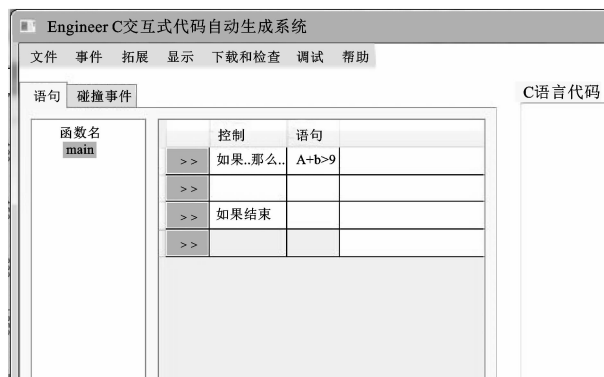


图5 Engineer C 代码自动生成系统

Fig. 5 Automatic code generator system of Engineer C

户程序的分析,生成函数间的调用关系^[10,16],如图6所示。同时借助对函数功能的注释,系统能够自动生成文本文件,形成用户的软件文档。

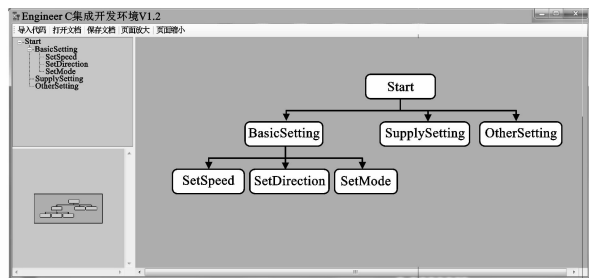


图6 用户程序文档自动生成系统

Fig. 6 Automatic generator system of user's software document

3 结 语

(1)采用多微处理器前后台模式工作,根据任务的不同对微处理器进行分工,有效地解决了单微控制器的可靠性不足,中断响应能力较慢,多任务下的实时性较差和高成本等问题。

(2)所设计的 Engineer C 语言及其集成开发环境为控制器的开发和调试提供了易学易用的编程语言。

(3)设计了包括中央通讯控制板、数字 I/O 主

板、运动控制主板、模拟主板及同步调试模块等在内的多核异构控制器架构。

(4)设计的自定义增强型 SPI 总线解决了各模块间的高速双向通信问题。

(5)基于多核异构的工程机械控制器架构与自主设计的 Engineer C 语言及其 IDE 目前已经完成了原型系统的开发和测试,结果证明该系统可以做为适用于工程机械控制器的软硬件一体化解决方案,具备了下一步工业化的技术基础。

参考文献:

References:

- [1] 王国庆,刘洁,张宗涛,等. 工程机械智能化控制器研究[J]. 筑路机械与施工机械化, 2008, 47(3): 73-75.
WANG Guo-qing, LIU Jie, ZHANG Zong-tao, et al. Research on construction machinery intelligent controller[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2008, 47(3): 73-75. (in Chinese)
- [2] 吴卫国,李树生,刘洋,等. 一种工程机械控制器的开发[J]. 建筑机械, 2014, 7(4): 98-101.
WU Wei-guo, LI Shu-sheng, LIU Yang, et al. Development of a controller for construction machinery[J]. Construction Machinery, 2014, 7(4): 98-101. (in Chinese)
- [3] 闵华松,李美升,魏洪兴,等. 工程机械智能控制器设计[J]. 信息与控制, 2011, 40(2): 254-261.
MIN Hua-song, LI Mei-sheng, WEI Hong-xing, et al. Design of intelligent controller for construction machinery[J]. Information and Control, 2011, 40(2): 254-261. (in Chinese)
- [4] 朱俊翔. 可配置工程机械控制器的设置与实现[D]. 南京:南京理工大学, 2013.
ZHU Jun-xiang. Design and implementation of configurable controller for construction machinery[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2013. (in Chinese)
- [5] 袁森,黄海松. 基于 MCU 和 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的工程机械电气控制器设计研究[J]. 测控技术, 2014, 33(4): 58-61.
YUAN Sen, HUANG Hai-song. Design study on construction machinery electrical controller based on MCU and $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ [J]. Measurement and Control Technology, 2014, 33(4): 58-61. (in Chinese)

(下转第 151 页)