

反射内存网技术在分布式数控系统中的应用研究

杨慧芳^{1,2}, 蒋新华^{1,2}, 聂明星^{1,2}

(1. 福州大学 电气工程与自动化学院, 福建 福州 350116;

2. 福建工程学院 信息科学与工程学院, 福建 福州 350116)

摘要:传统现场总线和以太网技术在分布式数控系统中应用时,存在带宽低和实时性不高的问题,不能满足现代数控高速高精加工要求。反射内存网络是一种实时、确定性的网络,可以较好地解决实时系统中数据传输的实时性问题。文中在分析反射内存网工作原理的基础上,提出了一种基于反射内存网的分布式数控系统实时通信网络方案。根据分布式数控系统的基本框架和反射内存网络的构建方法,对反射内存网在分布式数控系统中应用的通信机制做了深入研究,给出了系统的基本框架结构、节点模型和拓扑结构,旨在探索解决复杂数控系统在功能扩展和系统开放性实现上的网络关键技术问题。

关键词:反射内存网;分布式数控;实时性;通信机制

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)03-0234-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.03.053

Application and Research of Reflective Memory Network in Distributed Numerical Control System

YANG Hui-fang¹, JIANG Xin-hua^{1,2}, NIE Ming-xing^{1,2}

(1. College of Electrical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China;

2. School of Information Science and Engineering, Fujian University of Technology, Fujian 350116, China)

Abstract: At present, traditional fieldbus and Ethernet technologies have low bandwidth poor real-time in the application of Distributed Numerical Control (DNC) system, they can't meet the increasing demand of high speed and high precision of modern CNC. Reflective memory network is a real-time, deterministic network, which can solve the problem of real-time data transmission in real-time systems much more better. Based on the analysis of the principle of reflective memory network, a reflective memory network-based real-time communication network solutions for distributed numerical control system is presented. According to the basic framework for distributed numerical control systems and reflective memory network construction method, make a thorough study of the reflective memory network communication mechanism in application of distributed numerical control system. The basic frame structure of the system, the node model and the topological structure were given, aiming at exploring solutions on the key technical issues of complex CNC system extensions and achieving openness of systems.

Key words: reflective memory network; distributed numerical control; real-time; communication mechanism

0 引言

随着嵌入式与通信技术的发展,数控系统经历了由传统的单处理器的集中式体系结构到开放式体系结构,再到多处理器的分布式数控系统体系结构的发展过程。分布式数控系统以高精、高速的加工特征为发展核心,同时以达到异构网络间信息的无缝融合,实现

高实时性、高可靠性和高兼容性的新一代生产制造系统为发展方向。

针对如何提高分布式数控系统实时通信能力的问题,陶林等^[1]提出了一种基于以太网的分布式数控系统实时通信网络;宋真君等^[2]提出了基于工业以太网的分布式控制系统体系结构,虽然以太网技术有良好

收稿日期:2014-05-12

修回日期:2014-08-14

网络出版时间:2015-02-23

基金项目:国家“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAF12B15);福建省省属高校专项项目(JK2013030);福建省中青年教育科研重点项目(JA13210)

作者简介:杨慧芳(1991-),女,硕士研究生,研究方向为网络通讯;蒋新华,教授,研究方向为智能故障检测与诊断等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150223.0952.004.html>

的稳定性、低成本、高带宽及优良的兼容性等优点,但以太网的 CSMA/CD(载波监听多路访问、冲突检测)的传输机制决定了它无法确保网络传输延迟,导致其实时性差。金振华^[3]提出了基于 CAN 总线的分布式数控系统,虽然各种现场总线广泛应用于连接现场设备,有布线简单、硬件成本低、运行精确稳定等优点,但数据传输率低,实时性不高。

反射内存网光纤总线不但数据传输率远高于以太网和现场总线,而且是一种实时、确定性的网络,可以较好地解决实时系统中数据传输的实时性问题^[4-5]。反射内存技术用于所有使用以太网、光纤通道或其他串行网络将计算机或可编程逻辑控制器连接在一起的应用场合,如实时的飞行仿真器、电讯、高速过程控制(轧钢厂和制铝厂)、高速测试和测量系统等,但并非适用于所有应用场合^[6-8]。因此反射内存网是否适用于分布式数控系统,如何将反射内存网有效地应用到数控机床中成为反射内存网络应用的关键问题。

文中在分析分布式数控系统基本结构和反射内存网工作原理的基础上,提出了一种基于反射内存网的分布式数控系统实时通信网络方案,给出了系统的基本框架结构、节点模型和拓展结构。该结构方案的实现不仅极大地提高了网络带宽,而且也提高了数控系统数据传输的实时性能。

1 分布式数控系统基本结构

分布式数控系统是分布式控制思想在数控系统上的综合应用。随着数控系统功能的增加,数控机床加工速度的提高,许多数控系统采用了多微处理器结构,每个微处理器通过数据总线或者通信方式进行连接,共享系统的公用存储器与 I/O 接口,每个处理器分担系统的一部分工作^[3,9-11]。在分布式数控系统中,信号传递对实时性要求越来越高。

图 1 是分布式数控系统共享总线基本结构。

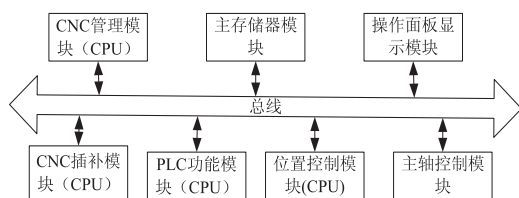


图 1 分布式数控系统共享总线基本结构

2 反射内存网技术

2.1 反射内存网工作原理

反射内存网(Reflective Memory Network, RNN)是一种高速实时网络,是由光纤连接的高速共享内存网络,与一般的基于 TCP/IP 协议的局域网一样,也是在每个节点计算机上附加一块网卡。反射内存网接口适

配器为各任务设备和反射内存光纤网络相连的接口,具有数据传输及网络管理双重功能,是整个反射内存环网的核心设备。RM 接口适配器主要由光电转换、数据编/解码/并行处理、网络管理状态机、存储器、协议管理模块及任务设备接口等组成,系统功能框图如图 2 所示。

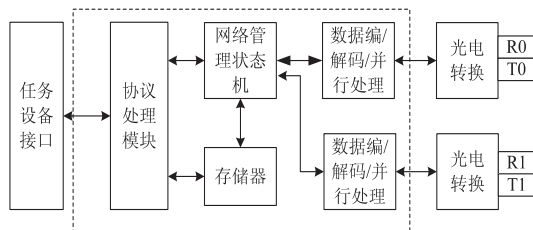


图 2 RM 接口适配器功能框图

反射内存网是一种特殊的共享内存系统,每个节点都占有一段对应的内存地址,可以在每一个节点子系统中独立地保存整个系统内存。在实时通信网的节点机上各插一块反射内存卡,卡上带有双口内存,各层软件可以读写这些内存^[12-13]。反射内存网可以在分布系统中实现内存到内存的通信。当数据被写入一台机器的反射内存卡的内存中后,反射内存卡 FPGA 硬件通过光纤自动将数据传输到实时通信网上其他反射内存网中反射内存网节点卡的内存里。通常,一个节点的更新只有不到 $0.4 \mu\text{s}$ 的时间延迟,传输遍历所有反射内存卡,所有反射内存网节点中对应地址都被写入对应数据。因此,实时通信网上各成员在访问数据时,只要访问本地反射内存卡的内存即可^[9,14-15]。

一个反射内存网节点由本地内存、嵌入式接口和用来提供访问主机和反射内存的仲裁逻辑构成,反射内存网节点可以安装或者连接在不同种类的计算机总线上,包括 VME、PCI/PCI-X、PCI Express 等^[4]。

2.2 反射内存网拓扑结构

反射内存网主要是由反射内存卡通过光纤等传输介质连接而成的,它主要有两种物理拓扑结构:星型拓扑结构(如图 3 所示)和环型拓扑结构(如图 4 所示)。对于环型拓扑结构的反射内存网,相邻反射内存卡通过输入端和输出端的连接形成一个环形网络,数据包沿着环形网络进行传递。其优点是不需要光纤 Hub、光纤使用量小、节省经费;缺点是每个节点都有延时,如果任何节点或者光纤发生故障时,数据包将不能被发送,从而导致整个传递网络瘫痪。因此,一般采用星型结构。事实上,星型拓扑结构只是一个物理意义上的结构,因为网络集线器内部结构是环型连接。逻辑上来讲,它仍然是一个环型结构^[4]。

在网络中的每一个节点都有唯一的节点 ID,在同一个网络中,不允许有两个一样的标识 ID,这个 ID 是通过板上的拨码开关进行设置的。ID 号越小,优先级

越高。当数据源节点通过集线器发送数据包时,集线器可以根据相邻板的高低 ID 来找出数据传递方向,从而实时更新所有节点的相应数据。在星型配置中,如果一个节点不工作时,集线器可以自动屏蔽故障节点,而不影响其他节点的数据传输,当然星型结构的缺点是网络中的 Hub 一旦发生故障,整个网络将会瘫痪^[16]。

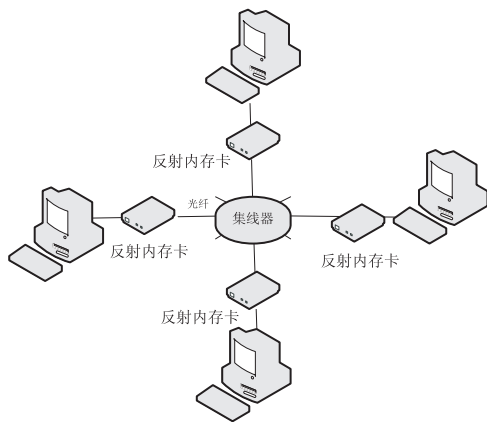


图3 星型拓扑结构

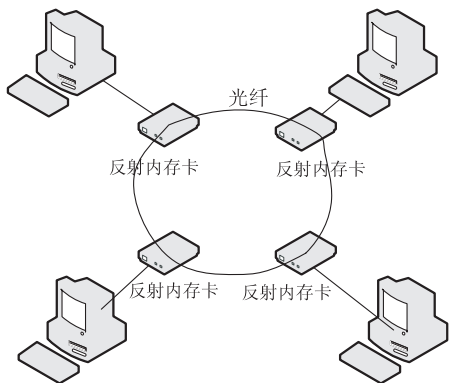


图4 环型拓扑结构

3 基于反射内存网的分布式数控系统的构建

3.1 数控系统网络构建

根据数控系统信息传输的特点及总体传输要求,拟采用反射内存光纤总线连接 CNC 装置、PLC、故障诊断专家系统、HMI 控制面板、CAD/CAM、数控加工仿真模拟系统等部件构成一个分布式数控系统。总线网络的每个任务节点接一个 RM (Reflective Memory) 接口适配器,每个 RM 接口适配器均集成一块专用的存储空间,系统将该存储空间映射到该网络节点处理系统的地址空间,这样节点处理系统对 RM 接口适配器的操作就和对本机内存操作方式一样。当节点任务设备往映射到反射存储器的虚拟地址空间的某个位置写数据的时候,反射内存网络协议在纳秒级的时间内将数据传播到网络上的每个其他节点。并且更新的传播操作是异步的,没有应用系统处理器的介入。数控系统

网络连接结构如图 5 所示。

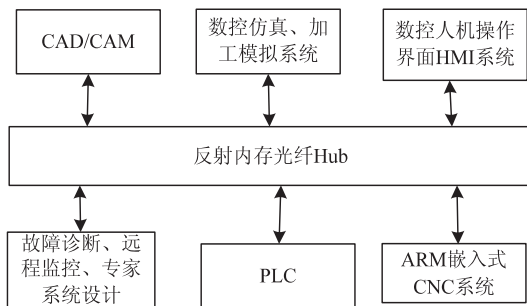


图5 数控系统反射内存网络连接图

分布式数控系统工作过程:CAD/CAM 系统对待加工零件建模,并根据加工工艺生成 NC 代码^[17];数控仿真加工及加工模拟系统对生成的 NC 代码进行图形仿真,进行预加工,检测是否有刀具干涉等异常现象;HMI(人机操作界面)作为工控机的输入和显示单元是系统和用户之间进行信息交换的媒介,显示各种控制信号的状态,操作人员可以通过它对机床进行操作,对机床参数进行设定和修改,加载零件加工文件;CNC 模块接收上位机传送的加工代码,通过解释器、插补器生成运动控制指令;远程监控及故障诊断专家系统通过采集数控系统及机床本体传感器件信息,远程监控机床运行状态,对运行故障进行故障原因分析和故障点定位。

如果将这些功能或者系统装在一台计算机上,会增加计算机负载,而插补过程是一个高实时性的过程,用反射内存网络把这些模块分别连接起来,并且其相互之间信息交换几乎没有时间延迟,相当于一台计算机实现的控制,能很好地满足数控机床对加工实时性的要求。

3.2 反射内存网络通讯过程

由于反射内存网的传输是纯硬件操作,所以不受特定网络协议的限制,也就不需要编写复杂的接口程序,软件上只需几行代码就可以完成对反射内存卡的读写操作。整个通讯过程如下:

Step1:打开板卡并复位板卡;

Step2:板卡初始化设置:

执行中断初始化函数(INT_Init);

设置板卡中断包中断使能(RM_IntData
Arrive_IntEnable);

使能光纤收发器(RM_FM_Enable)

Step3:通讯开始:

(1)发送方发送中断包(RM_TxIntPkt),中断包中断后,中断处理函数自动调用中断处理函数(RM_Rx-IntPkt)。

发送方发送数据包(RM_TxDatPk):当产生一个对 SDRAM 的写操作时,反射内存卡自动将数据和其他相

关信息(包括数据地址、节点号等)写入到发送缓冲器中,在发送缓冲器中,发送电路检测并将数据变成一个4到64字节长度可变的数据包,通过光纤接口发送到下一个板卡的接收端口。

(2)接收方接收中断包;中断包中断后,中断处理函数自动调用中断处理函数(RM_RxIntPkt)。

接收数据包(RM_RxDatPkt),写入磁盘,开启线程函数查询板卡接收数据包状态(RM_IntStatus),先判断本节点是否需要写入数据,若不需要,则直接转发写中断给下一组内节点;否则,向其反射内存卡中写入数据后发送读中断,接收电路解开数据包并将数据存储到板载的接收缓冲器中,在接收缓冲器中,另一个电路将数据写入到本地的SDRAM的和源节点相同的地址中。同时该电路将数据发送到发送FIFO中,重复这个处理过程直至所发送的数据返回到源节点接收端,然后源节点将节点ID相同的数据从网络中删除,从而实现所有节点都被更新。重复上述流程。

退出程序,关闭板卡(RM_Card_close)。

3.3 带宽及实时性分析

高速、高精加工中插补周期一般控制在1~2ms,插补周期越短,以直代曲插补直线段越逼近实际加工曲线,加工精度越高。对于分布式数控系统而言,地理位置上相对独立的各个单元通过网络通信系统进行互联,数据传输的带宽及实时性会极大地影响实际加工效果。

表1为几种数控系统中常用网络通信方式的对比情况。文中采用的发射内存网带宽最高可达1.06Gbps,网络传输延迟为400~750ns,这两个指标都明显优于FDDI(Fiber Distributed-Data Interface)、CAN、工业以太网及PROFIUBS现场总线。

表1 几种通讯网络对比

网络类型	带宽	实时性分析
RMN	1.06 Gbps	节点确定的传输延迟为400~750 ns
FDDI	100 Mbps	光缆延迟和站延迟使其响应时间至少为>5 ms
CAN	1 Mbps	数据率很低,速度低,一般响应时间5~10 ms
工业以太网	100 Mbps	CSMA/CD的传输机制决定了它无法确保传输延迟的确定性,导致其实时性差。传输延迟可达到1~10 ms
PROFIBUS	<12 Mbps	响应时间>10 ms

4 结束语

文中对反射内存网技术应用于数控系统这一极富研究价值的领域作了初步探索,提出了一种基于反射内存网的分布式数控系统实时通信网络方案,给出了系统的基本框架结构、节点模型和扩展结构。在实际

应用中,可以考虑把反射内存网同以太网相结合,在强实时部分使用反射内存网,在弱实时部分则利用以太网,实现资源的充分利用,降低开发成本。

参考文献:

[1] 陶林,蒋廷彪,张向利. 基于以太网的分布式数控系统实时通信网络研究[J]. 制造技术与机床,2009(11):114-119.

[2] 宋真君,李京,凌志浩,等. 基于工业以太网的分布式控制系统的通信研究[J]. 厦门大学学报:自然科学版,2001,40(z1):269-273.

[3] 金振华. 基于CAN总线的分布式数控系统研究[D]. 济南:山东大学,2013.

[4] 顾颖彦. 反射内存网实时通信技术的研究[J]. 计算机工程,2002,28(7):143-144.

[5] 刘威. 光纤通信技术与光纤传输系统的研究[J]. 科技信息,2008(19):68-69.

[6] 胥辉旗,王义冬,田燕妮. 高速光纤总线技术在导弹上的应用研究[J]. 电光与控制,2012,19(2):9-12.

[7] 曹素芝,张善从. 基于无源光网络的高速光纤总线技术研究[J]. 宇航学报,2011,32(5):1156-1162.

[8] 涂天祥,黄剑锋,王清阳,等. 基于光纤和FPGA的高速串行实时通信总线设计[J]. 制造业自动化,2009,31(6):86-88.

[9] You Tao, Du Chenglie, Zhu Yian. Supporting technology for virtual numerical control system based on RTX and reflective memory network[C]//Proc of the fifth natural computation international conference. Tianjin:IEEE,2009:319-323.

[10] 周凯. PC数控原理、系统及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2006.

[11] Chen Zongyu, Guo Wei, Wang Lifeng, et al. Research on open CNC system based on Windows NT and RTX[C]//Proc of computer integrated manufacturing systems. [s.l.]:[s.n.], 2006.

[12] Zheng Rui, He Shiyang. Research and realization of reflective memory network based on QNX[C]//Proc of 2nd international conference on computer and automation engineering. [s.l.]:[s.n.], 2010.

[13] Denton R. Distributed shared memory using reflective memory[C]//Proceeding of the 28th annual Hawaii international conference on system science. [s.l.]:[s.n.], 2003:101-103.

[14] 郭江澜,王丹菊,杜承烈. 基于反射内存网络的数据组播机制研究[J]. 电子设计工程,2013,21(6):145-147.

[15] 杨国青,万顺生,朱根才. 射频仿真系统控制网络的实时性研究[J]. 中国雷达,2010(3):22-26.

[16] 关林君,裴海龙,王清阳. 数控系统中的光纤串行通信[J]. 组合机床与自动化加工技术,2010(12):54-57.

[17] 何文锋. CAD/CAM技术在数控加工中的应用[J]. 黑龙江科技信息,2012(32):7-7.

反射内存网技术在分布式数控系统中的应用研究

作者：[杨慧芳](#)，[蒋新华](#)，[聂明星](#)，[YANG Hui-fang](#)，[JIANG Xin-hua](#)，[NIE Ming-xing](#)
作者单位：[杨慧芳, YANG Hui-fang\(福州大学 电气工程与自动化学院, 福建 福州, 350116\)](#)，[蒋新华, 聂明星, JIANG Xin-hua, NIE Ming-xing\(福州大学 电气工程与自动化学院, 福建 福州 350116; 福建工程学院 信息科学与工程学院, 福建 福州 350116\)](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)[ISTIC](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2015(3)

引用本文格式：[杨慧芳](#).[蒋新华](#).[聂明星](#).[YANG Hui-fang](#).[JIANG Xin-hua](#).[NIE Ming-xing](#) [反射内存网技术在分布式数控系统中的应用研究](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(3)