

基于 LONWORKS 网络的多处理器智能节点设计

梁阿磊 赵玉源 钟 凯 白英彩 韩江洪*

(上海交通大学金桥网络中心 上海 200030)

*(合肥工业大学电子信息研究所 合肥 230009)

摘 要 在基于 LONWORKS 网络的现场总线中, Neuron 芯片是节点的核心, 但是其处理能力不足以胜任复杂的计算任务. 为增强节点的计算能力, 提出并实现了一种非对称多处理器(AMP)结构的控制节点设计方案, 多个处理器之间采用共享总线相连, Neuron 芯片为主处理器, 3 个从处理器并行完成信号的高速采样计算. 在具体实现中, 提出了单缓冲、双通道总线、两级树状网络、通信线程细化等技术手段. 按该设计方案实现的总线计轴器已成功地应用于南京扬子石化铁路连锁系统.

关键词 LONWORKS 现场总线, 多处理器, 双通道总线, 单缓冲

中图法分类号 TP393.02; TP212.6

DESIGN OF MULTIPROCESSOR NODE FOR LONWORKS NETWORKS

LIANG A-Lei, ZHAO Yu-Yuan, ZHONG Kai, BAI Ying-Cai, and HAN Jiang-Hong*

(GBnet Network Center, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

*(Institute of Electronic Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

Abstract Traditional design of LONWORKS node is based on uni-processor architecture. To enhance the node performance and implement high-speed sampling, a LONWORKS node with ASMP architecture is designed in this paper, which consists of four heterogeneous multiprocessors, one neuron chip and three simple microprocessors. And the neuron chip acts as the master among processors and gateway between LONWORKS network and intra-bus, while three simple microprocessors play the slavers responsible for sampling and processing input signals in parallel. Implementation of gateway enables the communication with remote slave microprocessor instead of only neuron chip, and it may ease the remote configuring to slavers on field. Ideas and implementation of single-buffer, dual-channel bus and fine-grain communication are also proposed. The design has been implemented in bus-axial device and the device has been successfully applied in railway interlock system at Yangzi Petrochemical Industry, Nanjing, China.

Key words LONWORKS, fieldbus, multiprocessor, dual-channel bus, single-buffer

原稿收到日期:1999-05-25, 修改稿收到日期:1999-11-29. 本课题得到机械部人才基金项目(项目编号 96251003)资助. 梁阿磊, 男, 1969 年生, 博士研究生, 主要研究方向为计算机网络、交换与路由技术. 赵玉源, 男, 1973 年生, 博士研究生, 主要研究方向为计算机网络、分布式计算. 钟凯, 男, 1974 年生, 硕士研究生, 主要研究方向为计算机网络管理. 白英彩, 男, 1936 年生, 博士生导师, 主要研究方向为网络、分布式系统. 韩江洪, 男, 1951 年生, 博士生导师, 主要研究方向为计算机控制.

1 引言

现场总线是一种分布式的控制网络结构. 根据 IEC 和 FF 的定义, 现场总线是连接智能现场设备和自动化系统的数字式、双向传输、多分支机构的通信网络^[1]. 1994 年, ISPF 和 WordFIP 联盟成立了现场总线基金会(FF, Fieldbus Foundation), 该基金会云集了世界著名的仪表、DCS 和自动化设备制造商、研究机构和最终用户. LONWORKS 网络是著名的现场总线产品之一, 基于 LONWORKS 的网络系统, 在工业控制、智能大厦、商业 POS 等许多领域已得到了广泛应用.

Neuron 芯片^[2]是实现 LONWORKS 网络的核心芯片, 但它的计算能力不适合完成如多路高速信号采样这样计算复杂、实时性要求高的应用. 为了克服这种不足, 扩展节点的计算能力, 笔者设计并实现了一种非对称的多处理器控制节点.

控制器节点的内部结构设计分为 LONWORKS 网络接口和内部多处理器总线结构两部分. 其中 Neuron 芯片是总线的主处理器, 也是 LONWORKS 与总线之间的接口, 其它 3 片 89C2051 芯片是从处理器, 分别负责 3 路信号的运算.

通信的拓扑设计为两级树状结构: 节点与节点之间由 LONWORKS 网络连接, 通信协议为 LonTalk 协议; 多处理器之间基于共享总线通信, 并且在主处理器上设计了 LonTalk 协议与总线协议的转换程序, 实现了节点或处理器之间端到端的远程通信.

2 控制器内部结构的设计

控制节点内部的设计包括 LONWORKS 网络接口和多处理器总线结构 2 部分(如图 1 所示).

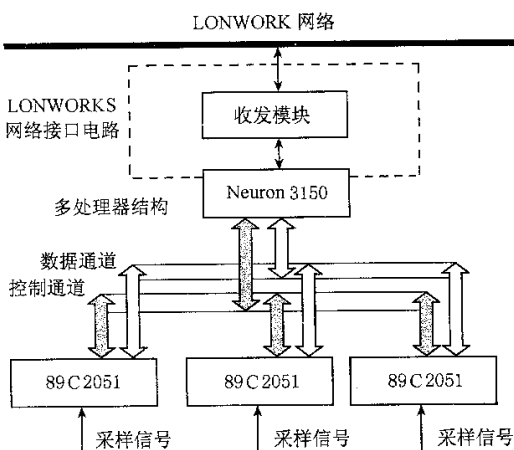


图 1 控制节点的内部结构

第 1, LONWORKS 网络接口的软件和硬件是以 Neuron 芯片为核心实现的: ① Neuron 芯片和收发模块(例如: FTT-10)的组合构成了 LONWORKS 网络接口硬件^[2]. ② 软件方面, 用户代码采用 Neuron C(ANSI C 的派生)语言编写. 这是一种基于消息处理的语言, 任务线程以非抢占方式被系统调用. 网络传输采用面向数据的网络变量机制, 对网络变量的读取或赋值将启动其内部的网络实现(由 LonTalk 固件提供).

第 2, 多处理器结构设计为基于共享总线的非对称结构(AMP), 主处理器是 Neuron 芯片, 3 片从处理器采用 89C2051 芯片. 为了减少单片机在通信上的开销, 主处理器与每一个从处理器之间的通信采用面向连接的虚电路(VC)方式^[3]. 在非连接状态, 从处理器的串口中断是关闭的, 避免了总线上非自己包的干扰, 节省了处理器的开销.

共享总线由控制通道和数据通道 2 个硬件通道组成. 控制通道为公用的协商信令通道, 由主处理器通过控制通道向任一从处理器发起“连接建立”协商, 一旦协商成功, 双方则在数据通道上建立了一条虚电路连接. 为了保证从处理器公平地共享数据通道, 主处理器采用轮询机制与每一个从处理器建立连接(轮询名单和顺序是可配置的).

3 通信的拓扑设计

整个系统通信的拓扑设计为 2 级树状网络结构(参见图 2(a)): 第 1 级是 LONWORKS 网络节点, 通信

协议采用基于网络变量的 LonTalk 协议^[41]第 2 级是节点内部的从处理器,与主处理器之间的通信协议采用内部总线协议.任意一对不是兄弟关系的 2 个节点之间的通信要经过两种协议,Neuron 芯片上编写的网关程序负责 2 个协议的转换.

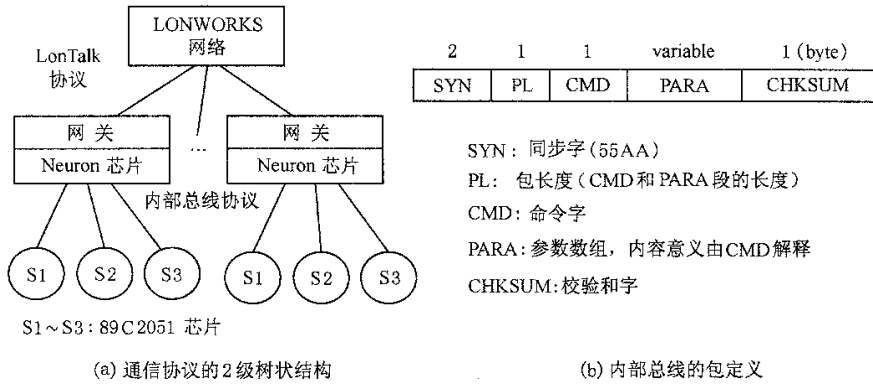


图 2

总线的通信协议要根据主从处理器双方的资源情况,设计连接信令和包格式,以及本地缓冲机制和通信线程的调度机制.由于资源因素的存在,要求通信接口和队列管理的设计和实现作了以下考虑:

- (1) 从处理器的 RAM 空间只有 128 字节,除去计算、管理所需要的开销,能够给通信使用的空间已不多.所以不能按传统的队列机制管理收发缓冲区,而采用基于事件的单缓冲机制实现发送队列管理;
- (2) 为减小通信所占用的处理器开销和配合单缓冲的管理,对包的最大长度和缓冲区的定长作了规定,并且采用了面向连接的通信方式;
- (3) 为了提高从处理器的实时响应速度,采用了多线程轮询调度的编程方式.同时,对通信线程作了进一步的细化.

3.1 虚电路的建立

主处理器与从处理器之间设计的数据传输采用面向连接的虚电路 (VC) 方式.一次完整的通信包括 3 个阶段:建立连接、通信、释放连接 (如图 3 所示).

(1) 每当主处理器要与任一个从处理器通信时,由主处理器通过控制总线向目的方 (从处理器) 发出“连接请求” (相当于软片选).所有的从处理器都能通过查询控制总线状态的方式检测到这个请求,只有目的方对请求给予应答,并进入连接状态 (打开通信中断、分配缓冲区等),其余的从处理器将不对其作任何响应;

(2) 主处理器接收到应答后,进入连接状态.在连接状态下,主/从处理器之间采用请求应答方式.主处理器可以主动地向从处理器发送配置、查询数据命令,并且定时地向处理器询问“是否有数据要上报”,以解决从处理器无法主动上报的问题;

(3) 当主处理器完成查询 (以及配置) 或数据读取后,将释放与该从处理器的连接.

3.2 包格式定义

为了保证包的正确传输,包的格式中定义了同步字、校验字 (参见图 2 (b)).包的最大长度必须小于从处理器方的定长单缓冲长度.

在从处理器中,提供了串口中断,数据的收发由中断程序实现.但在 Neuron C 中,同一任务两次被调度的最大间隔时间是 10ms 数量级,在这样长的时间里串行口的数据完全可能被丢失,而且即使读到数据也无法判断是否是包的开始.所以,包的格式中定义了两个字节的同步字,同步字为 55AAH.同时,为了保证接收

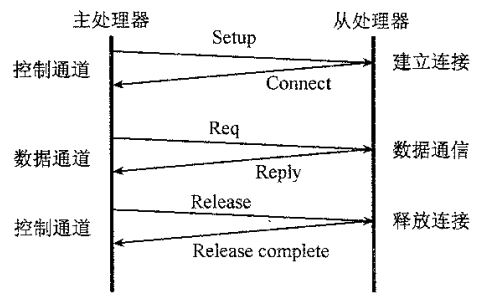


图 3 主、从处理器之间的通信

数据的可靠性,增加了求和校验字.当检测到同步字后,接收线程将保持,直到整个包裹接收完才让出控制权.

3.3 单缓冲机制

数据的发送和接收缓冲区都采用单缓冲机制,即发送或接收缓冲区只能存放一个包,缓冲区为临界资源.为了避免缓冲管理,缓冲区的长度设定为10字节的固定长度.

下面以发送过程为例,解释一下单缓冲机制(参见图4).数据的发送允许查询和主动上报2种方式.数据在被发送之前存放在各自的数据区中,当接收到来自自主处理器的“查询数据X”请求时,将数据X从数据区拷贝至发送缓冲区,如果有要主动上报的数据(如发现异常)时,首先设置“请求发送”事件标志,当接收到来自自主处理器的“是否有数据要上报”时,调度线程开始处理该事件——将数据拷贝至发送数据缓冲区.

在发送缓冲区的准备好之后,调度线程将启动发送线程,并将缓冲区控制权交给发送线程.发送线程完成发送后,再将缓冲区控制权交还给调度线程,调度线程将继续检查是否还有其它“请求发送”事件.以上过程实现了单缓冲的共享.

数据区也是临界资源,被计算线程和调度线程互斥共享(如图4所示).从处理器(89C2051)以200μs的周期采样信号,并将运算结果暂时先存放在各自的数据区中.在被锁定之前,任何新的运算结果都可以实时地刷新该数据区.当接收到来自自主处理器查询时,调度线程在拷贝数据之前先将数据区锁定,拷贝完成后解锁.

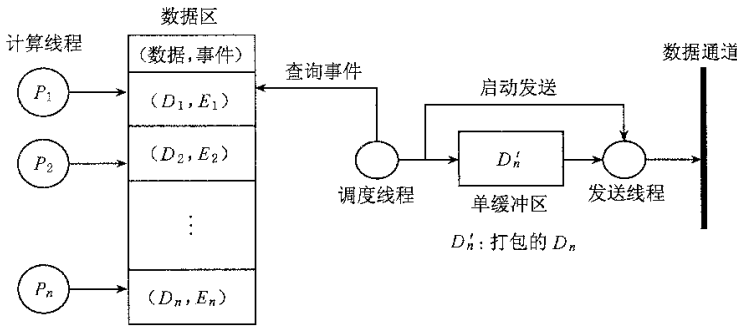


图4 从处理器的包发送

80bi(10字节),发送速率9600bps为例,整包的发送时间为8.3ms,而实际上向串口写一个字节只需一个指令的执行时间(即几微秒),但相邻字节之间的发送间隔受传输线速率的影响需要空闲等待约0.83ms(由于该嵌入式芯片不提供外部中断,所以程序此时要循环查询发送状态).为了将通信线程的颗粒度限制在200μs以内,一个包裹的发送是分多次完成的——即通信线程每被调用一次仅执行一个字节(或域)的发送任务,在线程中由一个指针记录下一个发送域的位置,这种方式可以用状态机描述和记录状态的转移,一个包裹的发送完毕就是状态机终止状态的结束.通信是处理器开销最大的工作,所以通信线程的细化大大提高了处理器的实时响应能力.

3.4 通信线程颗粒度的细化

由于从处理器中线程的颗粒度受采样周期的限制必须小于200μs,对通信线程的颗粒度作了进一步的细化.按照传统的以帧为收发单位来计算,无论是发送还是接收一个整包的时间都要超过200μs.包的发送时间Ts计算为

$$T_s = \frac{Len(P)}{B}$$

其中:Len(P)是包P的长度(单位:bit),B是发送速率(单位:bps).以包长

4 网关和远程访问

设计网关的意义在于实现 LonTalk 协议和总线协议的相互转换,借助这个网关可以实现处理器之间端到端的通信.协议的转换采用 tunnel 方法,即将总线的协议包打包在 LonTalk 的协议包(网络变量)中在 LONWORKS 网络上传输.

但实现中面临这样一个问题:LONWORKS网络的通信是面向网络变量的寻址访问(见本文第2节),而内部总线的通信是面向连接的虚电路方式,不存在寻址.通过LONWORKS网络访问某个节点的从处理器时,该节点的主处理器将从LONWORKS网络上接收到一个内嵌的总线协议包,但是它无法判断是发送给哪个从处理器的,反之亦然.

针对这个寻址网络访问面向连接网络的问题,本文提出的解决方案是由网关为每一个从处理器分配一个通道号,并建立一个网络变量-通道映射.在从处理器访问相关的网络变量中增加一个通道字段,而且在通道切换时记录下当前连接目的方的通道号,以明确从总线上接收数据的身份.然后,根据通道号建立对目的从处理器的虚电路连接.

网关的作用使得远程监控节点具有了对现场节点的从处理器的直接访问能力,远程监控节点可以向本地从处理器发送工作配置参数(如采样周期),或直接向现场节点的从处理器发送“查询数据 X”命令并获得返回值.这个设计提供了监控节点的芯片级管理能力.

5 结束语

分散控制系统的设计正处在从传统的集散控制系统(DCS)向分布式控制方式(如现场总线)的过渡阶段,今后的控制系统还将继续向分布式、异构的多网互联的方向发展,许多技术还处在研究阶段.

本文所设计的基于 LONWORKS 网络的智能控制节点,摆脱了原先一个节点一个 CPU 的设计思想,在控制节点内部尝试性地采用简单、廉价的处理器构成了一个异构的、非对称多处理器的结构.在实现中提出的单缓冲、双通道总线和通信线程细化等技术方案克服了简单处理器的资源短缺和处理能力有限等问题,提高了整个节点的信号采集速率.该智能节点的成功实现有力地扩展了 LONWORKS 现场总线的应用能力,基于该节点设计的 LONWORKS 网络总线式计轴器已在南京扬子石化铁路连锁系统投入运行,效果显著.

参 考 文 献

- 1 李万周等. 现场总线概论. 微计算机信息, 1996, 12(6): 816
(Li Wanzhou *et al.* Overview of fieldbus. Microcomputer Information (in Chinese), 1996, 12(6): 816)
- 2 Echelon Corp. Neuron chip data book. Echelon Corp, 1995
- 3 Andrew S. Tanenbaum, Computer Networks. Englewood Cliffs :NJ :Prentice-Hall, 1995
- 4 Echelon Corp. LONTALK Protocol. LONWORKS Engineering Bulletin, Tech Rep. 1993