

计量泵群远程监控方案及其数据服务器设计 *

施金培, 余世明 *, 朱智勇

(浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 计量泵被广泛应用于各种流体工业中, 国内外对此的研究多集中于工艺结构改良和机电一体化系统设计, 而鲜有多泵、泵群远程监控和协调调度方面的研究。针对实际工业中计量泵通常需要协同工作的现状, 分析和改进了计量泵网络化监控方案, 使之满足对大规模计量泵群的远程监控需求; 设计了一套基于 Java 的专用数据服务器软件, 实现了监控系统的数据交换和数据维护; 针对数据量大引起的系统性能下降问题, 结合环形缓存机制提出了一种环形对象池技术的设计和实现方案; 最后模拟不同的网络负载条件测试了数据延时时间。研究结果表明, 服务器能够保证数据的实时性, 能够应用于大规模计量泵群的远程监控中。

关键词: 远程监控; 计量泵群; 控制器局域网总线; 数据服务器; 环形对象池

中图分类号: TP39; TH3

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)03-0339-04

Remote monitoring scheme of metering pump group and design of data server

SHI Jin-pei, YU Shi-ming, ZHU Zhi-yong

(College of Information and Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: Metering pumps are widely used in fluids industry. Current researches often focus more on international structure improvement and design of automation systems, while lacking on remote monitoring and coordination of pump groups. Aiming that the metering pumps typically cooperate to work in industry, an improved plan of metering pumps networking monitor solution and appropriate communication method was presented to meet the needs of large-scale monitoring. A Java based data server was designed to manage data in monitoring system. To solve the problem of system performance degradation, a scheme of ring object pool was put forward, based on ring cache mechanism. Finally, different conditions and testing network delay time were simulated. Results indicate that the server can ensure data real-time and reliable, and can be used in large-scale metering industrial monitoring.

Key words: remote monitoring; metering pump group; controller area network(CAN) bus; data server; ring object pool

0 引言

计量泵作为流体精密计量与投料的理想设备, 广泛应用于石油化工、水处理、原料配送、肥料灌溉等行业^[1]。目前国内外对计量泵的研究主要集中于两个方面: ①从工艺结构和运行机理上进行分析和改良设计^[2-3]; ②针对不同的应用场合, 利用单片机、ARM、FPGA 等微处理器设计嵌入式控制器, 来实现对计量泵的流量控制^[4-5]。而对于单泵, 对多泵、泵群远程监控

和协调调度的研究还比较少。

在实际工业应用中, 往往由多台计量泵构成泵组, 共同完成一定的生产任务。泵组间的通信、协调、调度和控制, 均需要网络化技术才能实现。很多化工企业和水处理现场存在强碱、强酸和有毒气体, 不便于人工操作, 故采用网络化监控技术是非常必要的。

文献[6]提出了一种以太网-CAN 总线的计量泵远程监控方案, 具有一定的参考意义。但该研究着眼于协议转换器的实现, 并未深入探讨网络监控方案, 也没

收稿日期: 2011-09-21

基金项目: 浙江省重大科技专项计划资助项目(2011C11089)

作者简介: 施金培(1986-), 男, 浙江湖州人, 主要从事嵌入式系统方面的研究。E-mail: apeish@163.com

通信联系人: 余世明, 男, 教授, 硕士生导师。E-mail: ysm@zjut.edu.cn

有将数据网和控制网隔离,可能会造成网络时延。

笔者结合计量泵组的工作特性,对文献[6]中的计量泵网络化监控方案作进一步的展开分析,使之满足大规模计量泵群及其辅助设备的远程监控需求。根据流体工业数据的特点,本研究采用 Java 语言设计一个专用数据服务器,实现监控系统对数据进行分析、组织、转发、存储等功能;为解决网络传输中数据量大导致的系统性能下降问题,笔者结合对象池技术和环形缓存机制,给出一种基于环形存储的对象池技术的实现方式。

1 远程监控系统方案

现场总线作为最受欢迎的工业控制网络之一,具有全数字化、实时性好、稳定性高等特点,而以太网技术的引入,使得远程监控成为可能。

针对大规模计量泵群的以太网/CAN 总线远程监控系统方案设计需要考虑如下几个方面:

(1) 通信是系统最基本也是最重要的功能需求。现场设备(如计量泵、传感器、开关设备等)通常采用数字化的现场总线网络互连,以提高数据传输的可靠性和实时性;考虑到计量泵往往工作于高空、矿井或易燃易爆等危险区域,工作人员需要进行远距离操作,因此监控设备(上位机 PC)应使用以太网完成通信。目前学术上已有许多协议转换器的研究。

(2) 简单地将以太网和现场总线相联是不明智的。因为现场数据往往具有短帧、量大等特点,而以太网通信依赖于 TCP 协议,数据的传输须先建立可靠的连接。大规模的现场数据可能会导致连接丢失、网络时延和网络冲突。因此,一方面在硬件上应该将控制网和数据网隔离开来;同时在分析数据特性的基础上,需要有一套适用于不同平台的通信模型,以满足以太网和总线网的完美对接。

(3) 操作人员具有查看设备、分析数据、发送控制指令、打印历史报表等需求。远程监控软件可能会根据不同要求运行控制算法和协调现场设备工作。这些都有赖于一个公用数据库来实现即时和历史数据分析、存储、查询、组织等功能。

基于上述分析,一个基于 CAN-Ethernet 的远程监控系统框架如图 1 所示。

该系统主要有以下几个部分:

(1) 连接网络。包括连接监控计算机的上位机以太网,若干个现场总线网和连接各总线网的下位机以太网。不同的网络之间通过中继设备互连。

(2) 中继设备。协议转换器用于连接总线网和下位机以太网,完成 TCP/IP 和 CAN 的协议转换;数据服务器连接下位机和上位机以太网,提供数据过滤、分

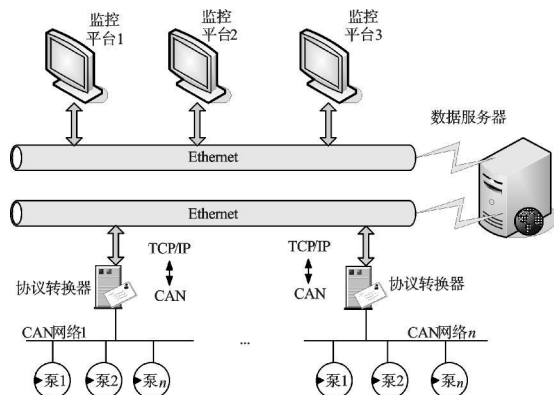


图 1 CAN-Ethernet 远程监控方案

析、转发、查询、存储等功能。

(3) 节点和终端。监控计算机定期从数据服务器中拉取数据,并显示设备运行情况;各 CAN 节点也将实时接收到经过数据服务器解析过的控制命令。

该方案实现了控制网和数据网的分离,并通过协议转换器和数据服务器来实现不同网络之间的通信连接和数据维护功能,减小了发生网络时延和网络冲突的可能性,成功地将以太网和现场总线技术相结合,使大规模计量泵群的远程监控成为可能。

2 数据服务器的设计

2.1 服务器组成

数据服务器不仅是上位机与下位机的通信交换中介,亦是所有实时数据和历史数据存储、分析、转发的地方。为了使软件的可移植性更强,它采用了 Java 语言编写。数据服务器主要包括以下部分:TCPServer、MessageFactory、ControlCenter。

2.2 TCPServer 和通信实现

TCP 服务器端的工作是建立一个通信终端,并被动等待客户端的连接。本研究采用 Java net 包中的 ServerSocket 和 Socket 来实现有阻塞的 TCP 服务端,并引入多线程机制来解决 Socket 的阻塞问题。

主线程启动若干个子线程:线程 SocketSend 从发送池中提取发送报文并转发;线程 SocketSelect 用来监听端口,调用 accept 方法来建立套接字,并针对每个套接字启动线程 SocketReceive 和若干个 GetMessage;线程 SocketReceive 将接收到的报文写入一个 buffer 中;线程 GetMessage 从 buffer 中提取数据并推入接收池。各个子线程的程序流程如图 2 所示。

实际应用中的 TCP 协议不会在接收到数据后立即对其进行确认,通常为了减少网络拥塞而采用了延时确认的机制,使得 TCP 协议无法满足实时性要求较高的场合。因此 TCPServer 中调用 Socket 实例的 setTcpNoDelay 方法关闭了延时确认。

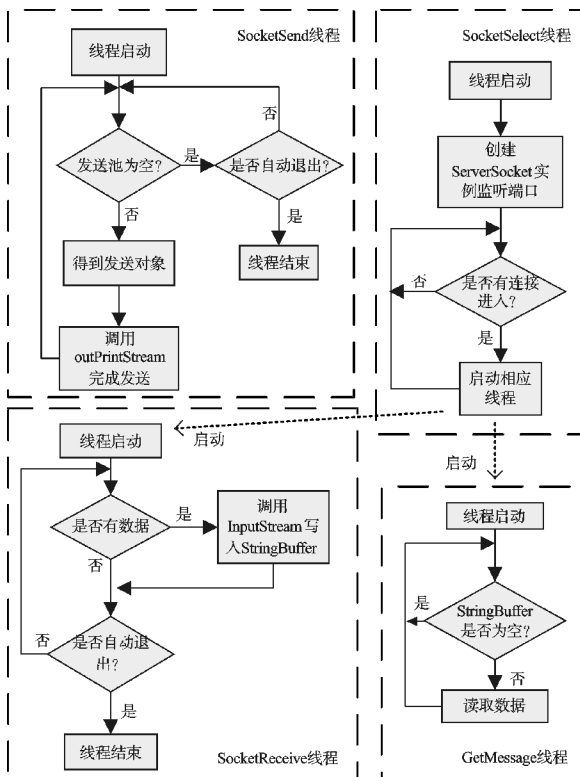


图2 TCPSever子线程流程图

2.3 数据分析交换

数据的分析和交换主要依赖于 MessageFactory 和 ControlCenter。MessageFactory 用于报文的提取、阅读、验证等;ControlCenter 维护用户列表和负责维护多个发送和接收队列,控制信息发送格式和流向,并为高级功能应用(数据库、数据表等)提供一些可用接口。

报文按格式分为4种:COMMAND、REQUEST、RESPONSE、COMMON。COMMAND 用于发送控制命令,具有最高发送优先级和即到即传特性;REQUEST 用于建立连接和获取数据等;RESPONSE 是针对 REQUEST 的响应;COMMON 用于发送一般性数据,如传感器值等,优先级最低。

与 TcpServer 相同,ControlCenter 也采用了线程池的方法。主线程循环启动各个子线程。每个时刻都有多个不同类和同类的线程同时在运行(可能有上百个)。有以下几种子线程:

(1) ProcessReceive,从多个 TcpServer 的接收池中得到报文,辨别报文格式,提取其中信息,处理后放入相应的发送接收队列(对象池)。

(2) ProcessResponse,从相应队列中提取 RESPONSE 处理后放入 TCPSever 发送池等待发送。

(3) ProcessCommand,提取 COMMAND 并发送。

(4) ProcessRequest,处理请求信息,包括请求连接、请求实时数据、请求历史数据、请求断开等,生成 RESPONSE 并放入相应队列。

此外,ControlCenter 还负责数据的存储和管理。

2.4 基于环形存储的对象池技术

以太网在通信过程中将产生大量的原始数据、解析封装后的中间数据以及处理后的最终数据;直至被持久化或发送出去之前,这些数据都将暂留在内存内。每个数据封装在各自的 Java 对象里。这将占用大量的资源空间,而且频繁地创建/删除对象也会大大降低系统的运行效率。为解决这个问题,笔者结合对象池技术^[7-8]和嵌入式系统中常用的环形缓冲机制,提出一种基于环形存储的对象池技术。

环形缓冲机制的缓冲区通常有一个读指针和一个写指针。本研究通过移动指针来指向不同的内存地址,并对该地址进行数据读/写操作。因此,环形对象池的设计模型如图3所示。

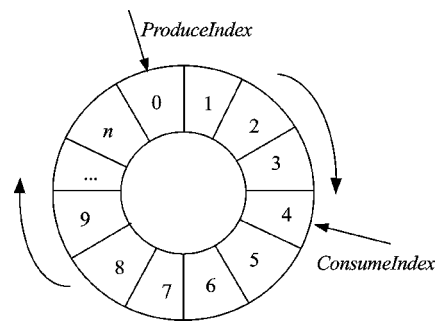


图3 环形对象池

图3中 *ProduceIndex* 为产生索引,指向下一个可写对象,*ConsumeIndex* 为消耗索引,指向下一个可读对象。数据按同一个方向写入和读取。环形对象池设计结合了单例模式和工厂模式,它的 UML 类图基本如图4所示。

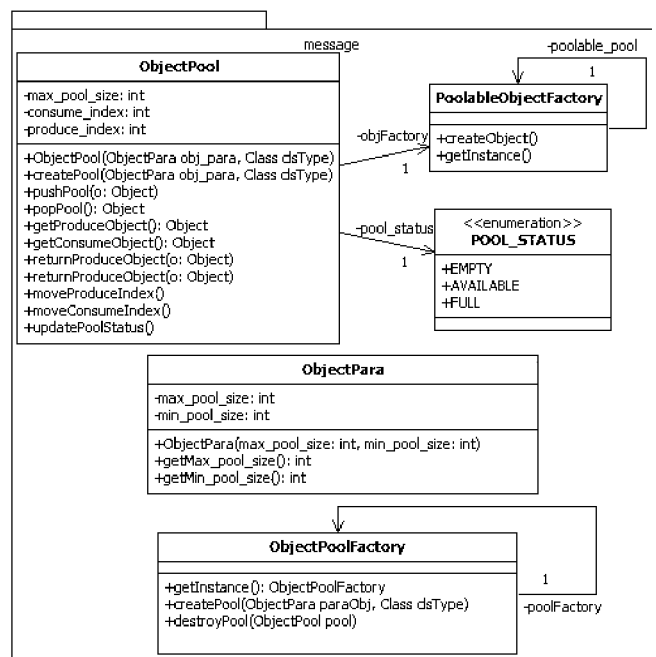


图4 对象池类图

与普通对象池不同,用于提取可用对象的方法有两个: `getCosumeObject()` 和 `getProduceObject()`。它们的基本流程都是先判断当前对象池是否有可读/可写对象,如果是则返回,否则线程进入睡眠模式直至被唤醒为止。每次操作都将更新对象池状态。为了保证线程安全,以上方法都加上了同步(`synchronized`)关键字。

数据服务器中使用了环形对象池来实现多个不同的队列,包括接收池和发送池、COMMAND 池、REQUEST 池等。对象池技术明显提升了系统性能。

3 性能测试

数据服务器除了在功能上要满足各类报文分类查询转发等需求外,在性能上还要达到实时性和稳定性要求。考虑到各种数据中只有控制命令和报警输出才具有即收即发的要求,大多数数据允许有一定延迟。因此本研究设计测试流程如下:

在计算机 A 上启动数据服务器程序;在计算机 B 上使用现有的 TCP 软件模拟建立若干个客户端,连接服务器并发送不同格式的报文;在计算机 C 上模拟建立一个下位机端和一个上位机端,上位机端发送若干条控制报文并被上位机接收,并通过抓包软件查看报文并计算出报文平均延迟时间。通过改变负载条件可得到更多的测试结果。

负载条件包括两方面:①CAN 网络数的数量,一个 CAN 总线网络的节点上限取决于电气驱动能力,一般只有数十台到上百台;②总发送速率,指的是数据总量大小。CAN 网络的速率大约在 5 Kbps~1 Mbps 之间,相对于以太网来说还是较低的。

在不同的负载条件下,数据延迟及所占系统资源情况如表 1 所示。测试环境如下:服务器 CPU 为 AMD4200+双核 2.2 GHz,内存 2 G;抓包软件使用目前

表 1 不同负载下数据服务器工作情况

Nets	Speed (KB/s)	Memory	Cpu	Data delay/s
0	0	15 616	0	0.000 73
5	0	15 724	0	0.000 75
5	133	37 980	11	0.002 33
5	266	57 108	15	0.005 69
5	581.5	59 628	43	0.015 12
10	0	15 912	0	0.000 81
10	266	57 722	23	0.006 71
10	532	63 324	55	0.013 25
10	1 303	79 084	78	0.200 82
20	0	16 000	0	0.000 79
20	532	58 296	64	0.021
20	1 064	65 268	70	0.124 48
20	2 606	ERROR	NP	NP

十分流行的 WireShark1.5。表 1 中:Nets 表示模拟的 CAN 网络数,SPEED 表示数据发送总速度,Data Delay 表示当前负载下一条控制报文的数据延迟。CPU 和 Memory 表示稳态下服务器所占系统资源。

从表 1 中可知,在低负载条件(500 KB/s 以下)的数据延迟是十几微秒以内,在流程工业中可以忽略;在负载条件在 1 MB/s 左右时数据延迟达到 0.2 s,已到了数据服务器在实时性方面的瓶颈;当数据总量超过 2.5 MB/s 时,数据服务器无法正常工作:测试过程中发现内存占用快速上升,最后因内存耗尽而崩溃。其他条件下系统最后总能趋于稳定。可以认定,至少在模拟有 20 个 CAN 子网、总数据速度在 1 MB/s 以下的环境中,数据服务器能够保证实时性和稳定性需求。

4 结束语

针对实际工业中计量泵通常需要以泵群泵组方式工作的状况,以及目前国内外相关研究的欠缺,本研究详尽地分析了对大规模计量泵群监控的各方面,对文献中所提到的网络监控方案进行了改进和应用。

基于改进的计量泵群远程监控系统方案的需求,笔者使用 Java 语言开发了一个专用数据服务器,以满足监控系统对数据分析、交换、维护等需求。考虑到网络通信中数据量多大长度短的特点,本研究提出基于环形缓存的对象池技术。模拟测试结果证明服务器能够保证数据的实时性和可靠性。

参考文献(References):

- [1] 陈雨田,黄晓斌,陈震,等. 计量泵、磁力泵、高速泵和增压泵的应用介绍与市场发展[J]. 化工设备与管道,2006,43(6):35-38.
- [2] 李团结. 行程可调计量泵的性能与结构参数间的关系[J]. 西安电子科技大学学报,2004,31(1):44-46.
- [3] 华锁宝,潘政广. 计量泵振动机理分析和减振措施[J]. 流体机械,2010,38(2):45-48.
- [4] WANG Guang-wei, WANG Li-fang. Research on FPGA control-led metering pump flow system[C]// E-Product E-Service and E-Entertainment (ICEEE), 2010 International Conference. Wuhan: [s.n.], 2010: 1-3.
- [5] 佟金颖,罗琦,黄圣杰. 基于 dsPIC 的感应电动机调速系统控制器设计[J]. 微电机,2009,42(4):50-51.
- [6] 倪孟科,余世明,施金培. Ethernet-CAN 总线协议转换器在计量泵远程控制中的应用[J]. 机电工程,2010,27(2):50-53.
- [7] 刁冬坡,陈平,张立勇,等. 基于 Java 的对象池技术的设计和实现[J]. 计算机应用与软件,2006,23(2):66-68.
- [8] 汪永好. 对象池技术的原理及实现[J]. 计算机信息技术,2009,12(2):56-58.

[编辑:李辉]