

基于工业控制以太网的 QoS 机制研究

陆万喜 姚 靖 金心宇 姚 嘉 浙江大学信息与电子工程系(310027)

Abstract

In view of the current deficiency of QoS control in Industrial Control Ethernet, a hierarchy model for dynamic adaptive QoS control is proposed. Furthermore according to the feature of industrial control traffic, a data mining technique based on MPCA algorithm is used to build an integrated network management platform to implement the efficient supervising and management of QoS.

Keywords: QoS, RTP, RTCP, FEC, MPCA

摘 要

针对目前工业控制以太网实施 QoS 控制的难点,本文提出了一种基于分层结构的动态自适应 QoS 控制模型,并根据工业控制通信的特点,采用基于 MPCA 算法的数据挖掘技术,建立综合网管平台,实现良好的 QoS 监控管理。

关键词:服务质量,实时传输协议,实时传输控制协议,前向纠错,多向主元分析

1 工业以太网中 QoS 的重要性

随着以太网在工业应用的不断扩展,网络服务质量 QoS 已经是在工业控制领域中以太网应用的重大理论和技术问题,在工业以太网中对于包括最大信元传输延迟、信元传输延迟峰值变化、信元丢失率和错误率在的服务质量参数进行显式管理,必须要有额外的策略或机制来提供 QoS 保证,这已成为当前研究的热点,尤其是目前已有的工业控制以太网的测试管理系统大多是基于纯软件的集中式管理,对工业控制中大规模的交换式网络并不适用,并且分析功能单一,不能对长期数据进行统计分析并给出决策支持,缺乏智能化,同时关于该方面的基础研究与应用研究缺乏,造成以太网在工业控制领域的应用中还存在数据的延迟、丢失率和错误率偏高并严重影响实际应用。

目前基于工业以太网有两种主要的 QoS 控制机制。第一种是端到端的控制机制,其核心思想是采用资源预留策略以保证每个数据流的服务质量。该机制的主要优点是控制较为精确。IETF 的 IntServ 模型采用了这种机制,并基于 RSVP 实现资源预留。但这种机制可扩展性较差,这主要因为:一方面,在每个结点上,资源预留过程的复杂度与流经此结点的数据数目成正比。当端结点数较多时,将严重影响此过程的实时性,进而影响数据流传输的实时性,这使得该机制只能支持比较有限的端结点数。另一方面,该机制要求数据流经的每个结点都必须从硬件或软件上支持资源预留,这使得该机制只能适用于较小的范围,不适合大规模的工业以太网。第二种是基于端结点的控制机制,其采用了与端到端的控制机制完全不同的控制思想。在此机制中,所有的 QoS 控制部件只分布在网络边界,即端结点,网络内部结点只是对数据进行转发。该机制的特点是可扩展性较好。IETF 的 Diffserv 模型采用了这

种机制。在此模型中,端结点通过设置 ToS 字段标记每个 IP 包的优先级,内部结点根据此字段数值对 IP 包进行转发。由于其操作对象是 IP 数据包,不仅不便于与上层应用进行集成,而且也不便于与其它控制策略进行集成。此外,该模型缺少有效的流控机制,只是单纯地依靠内部结点对数据包进行转发和丢弃,无法实现 QoS 较为精确的控制。

本文分析了一种基于分层结构的动态自适应 QoS 机制,并给出了具体的实施方案,为工控网络通信提供一个量化测试、有效管理的新机制,具有较大的学术意义和广阔的应用前景。

2 分层结构的动态自适应 QoS 控制模型

该 QoS 控制模型分为 QoS 控制层、RTP 层以及 FEC 层三个层次,如图 1 所示。

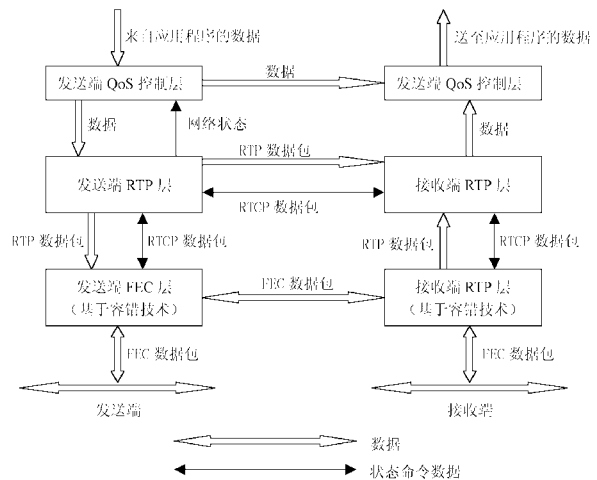


图 1 基于分层结构的动态自适应 QoS 控制模型

QoS 控制层的主要功能是对工业数据的传输进行流量控制,其基本策略为:对周期性数据流信息(如测量、控制信息)采用固定带宽分配策略;对于非周期

性数据流(如组态信息、报警等突发性事件信息)则采用动态自适应的带宽分配策略,在此基础上根据每个数据包的编码特征确定其是否可以进入网络,即是否发送到 RTP 层。RTP 层的工作机制基于 RTP/RTCP,其主要功能是:以 RTP 包的形式对 QoS 控制层的数据包实现实时、有序传输,并通过 RTCP 包的交互动态获取当前数据传输的时延、抖动、丢包率等网络状态参数,这些参数不仅是 QoS 控制层进行带宽分配的依据,也是 FEC 层实施动态 FEC 机制的主要依据。FEC 层的工作机制是基于 FEC 容错技术的,其主要功能是降低 RTP 包传输的丢包率。本层还引入了反馈机制,即根据当前的丢包率,动态控制 FEC 数据包的发送。模型的三个层次之间有明确的接口,每一层通过其接口向上层提供透明的服务。从逻辑上可认为,数据在结点间对应的层次上进行传输,在 QoS 控制层以数据包的形式进行交互,在 RTP 层以 RTP 包、RTCP 包的形式进行交互,在 FEC 层以 FEC 数据包的形式进行交互。

3 系统的设计实现

对于该分层结构的动态自适应 QoS 控制模型,既可以通过以纯软件的形式开发协议栈加以实现和验证,也可以从硬件上加以实现,但考虑到工业控制通信对实时性要求较高,所以单纯依赖软件开发的方式在实时性上可能达不到要求。同时,由于一般工业以太网规模较大,平均有成千个点,且网络的异构性比较复杂,因此一般的集中式管理机制缺乏效率,且会对中心节点造成很大的网络荷载,难以用于大规模的交换式网络。综合上述特点,本方案采用分布式结构的专用硬件平台能够较好地满足流量控制算法等相关数据处理算法的数据采集,方案示意图如图 2 所示。

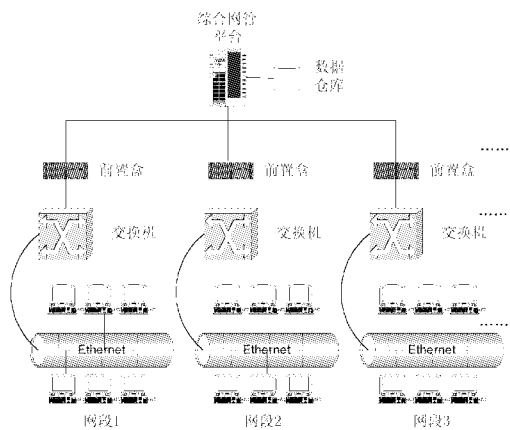


图 2 系统拓扑图

硬件平台为前置盒,主要基于网络处理器,各种算法通过硬件实现,内部集成了几个甚至几十个转发微引擎和硬件协处理器、硬件加速器,在实现复杂的拥塞管理、队列调度、流分类和 QoS 功能的前提下,可以达到极高的查找、转发性能,实现“硬转发”。整个硬件平台采用嵌入式系统来开发。

实施方案从整体上可划分为前置盒网络数据采集与动态自适应 QoS 控制管理模块和综合网管数据处理两大部分。前置盒模块完成本网段的数据采集功能和基于分层结构的动态自适应 QoS 管理机制。QoS 控制层的主要功能是对输出数据流进行流量限制。根据工业控制网络通信中周期性数据为主的特点,本模型中采用周期性数据信息流(如测量、控制信息)优先的策略,基于带宽预留思想为周期性数据流分配固定带宽;对于非周期性数据流(如组态信息、报警等突发性事件信息),则采用动态自适应的带宽分配机制,并在此基础上,引入基于数据编码特征的信包调度模块,使得当网络负载较重时,只发送对 QoS 影响较大的数据信息。非周期性数据的带宽分配采用了“线性增长成倍衰减”的策略,此策略为:若当前的数据包丢失率小于某个阈值,则线性增加分配带宽值;若当前的数据包丢失率大于某个阈值,则将当前带宽值乘上衰减比例因子,作为新的分配带宽值。基于上述策略的带宽分配机制既能充分利用带宽资源,又能有效地降低丢包率。非周期性数据流的信包调度由令牌管理模块和数据包发送判定模块协同完成。令牌管理模块的工作机制是基于“漏桶算法”,其主要作用是对数据发送速率进行限制,使得发送速率符合带宽分配模块所确定的速率。数据包发送判定子模块根据当前令牌池中的令牌数以及当前数据包的编码特征判定是否将数据包发送到网络。

FEC 层的主要功能是基于 FEC 容错技术为上层提供一条的“较可靠”的传输通道,虽无法提供完全可靠的数据传输,但能有效地降低丢包率。其工作机理是:在发送端把 k 个原始数据包编码生成 n(n>k)个数据包,使得 n 中的任何 k 个数据包都能够恢复出原始数据包,这样在接收端只要接收到任意 m(m>k)个数据包,就可以恢复原始的 k 个数据包,即允许传输过程最多丢失 n-k 个数据包。相对于目前网络传输中常用的 ARQ(Automatic Repeat reQuest)控制机制,FEC 机制主要有以下优点:它是由数据发送端实现的,不需要与数据接收端进行交互,实现机制较 ARQ 简单;适用于组播或广播模式的数据发送,在这种一对多的发送模式下,性能不会随着接收方的数目增加而下降,即具有较好的可扩展性。本模型中的 FEC 层将 FEC 机制和反馈机制结合起来,实现了动态自适应的 FEC 机制。该机制不仅能有效地降低数据传输过程中的丢包率,而且在丢包率较低的情况下能有效减少冗余数据占用的带宽。

综合网管平台用于对从各个前置盒中传来的采集数据进行分析处理,实现监控管理的功能,获得整个网络的流量分布、网络动态链接图等有用的管理信息。整个网管平台的功能模块具体可划分为:

- 1)配置管理:主要负责全面动态地管理全网所有

网元设备的配置数据、设备保障、状态检查和安装功能,能够以图形、文字等形式分层显示配置相关的各类信息,并且具有编辑(增加、删除、更改)、分类统计和打印输出这些数据的功能。

2)性能管理:主要负责全网性能监视、性能控制和性能分析,完成链路性能测试以及各类性能信息的收集、统计、存储,同时还负责性能信息数据库的维护,性能管理阈值的设置与阈值越过报告,产生按需的性能报告,系统基于性能报告和统计分析,通过运行管理功能和配置管理功能对网络进行调整,以达到改善网络总体性能水平的目的。

3)故障/告警管理:实现对数据网内所有网元设备的告警监测和故障定位,配合运行管理功能进行故障排除和系统设备复测,还能收集和处理各网络单元的各种故障、告警及网络状态异常信息,并具有各种分类统计和指导分析的功能。

数据仓库用于存储实时的网络信息,如流量、带宽利用率等等。对于生产变量成百上千的比较大的控制系统,整个网络的数据量很大,一般的数据处理技术难以适应。因此,采用基于 MPCA 算法的数据挖掘技术能较好地适应这个特点,便于从海量数据中取得关键信息。所有系统的运行情况只要几张简单的控制图就可以表现出来,而且一旦出现故障,还可以迅速查找到

(上接第 33 页)

根据纯生啤酒生产的特点,PLC 控制程序采用模块化结构,由主程序和各个子程序构成。主程序主要完成上电初始化、系统自检、各子程序的调用管理等任务。子程序结构大体可以分为以下几个部分:控制模块,通信模块,数据采集与控制结果输出模块,计时模块,报警模块等。

控制模块是软件设计的关键,主要包括发酵温度、压力曲线控制,以及发酵罐 CIP 过程,清酒罐 CIP 过程,管路 CIP 过程,过滤过程,无菌水、无菌空气的制备过程等的自动控制。其它一些简单的生产过程也都采用自动控制方式,如倒罐,酵母回收等。以尽量减少生产过程中人为因素的影响,提高系统的自动化程度,保证成品质量稳定。

程序设计过程中,充分考虑了干扰,设备故障等因素,本着运行稳定、生产安全、节约能耗的原则,充分发挥自动控制的能力,使生产效率达到最高。下面仅给出 CIP 碱洗过程的程序框图来说明,其它不再赘述。

通信模块用来实现下位机之间的数据通信。PLC1 与 PLC2 之间通过 PROFIBUS -FDL 实现通信。PLC3、PLC4、PLC5 与 PLC1 通过 MPI 网通信。

采样输出模块、计时模块和报警模块在一般的计算机控制系统中都有应用,在此不做详细论述。

(2)计算机集成控制的上位软件

故障来源。MPCA 算法在批生产过程数据进行分析处理方面有很大的优越性。其建模方法实质上是使用正常批次数据测量变量和平均轨迹之间的偏差建立统计模型,然后比较新批次过程测量变量和平均轨迹之间的分差,如果偏差和模型分差统计不一致表明新批次过程是异常批次过程,产品质量下降。通过上述理论及应用基础研究,为整个工业以太网系统的实际应用建立可行的理论依据和网络管理 QoS 新机制。

4 结束语

由于工业控制网络通信具有不确定性较高的特点,因此如何提供相适应的算法理论及管理机制、实现平稳的流量控制,良好的 QoS 控制管理是关键所在,本文分析的分层结构动态自适应 QoS 控制机制和提出的实现方案为进一步解决工业控制以太网内数据包丢失检测、减小丢包率、故障定位和实现智能化管理建立必要的理论和应用技术基础,有较大的参考价值。

参考文献

- 1 贾东耀,汪仁煌.工业控制网络结构的发展趋势.工业仪表与自动化装置,2002,(5):12~14
- 2 吴翔,奉余莽.IP 网络中提供 QoS 支持的方案综述.计算机应用研究,2000,(4):11~13
- 3 Xiao X.,Ni L.M.Internet QoS:A big picture.IEEE Network Magazine,1999,13(2):8~18 [收稿日期:2003.3.31]

系统的上位软件采用 VB6.0 开发环境,在 Windows98 上开发的。以 Windows98 为运行平台的应用软件是一种以消息驱动为特点的应用程序,因此,在软件的设计过程中也是以消息接收和消息处理为中心进行的。程序不仅要实现工艺流程监视、操作等功能,还要实现数据记录、参数设定、口令设置等复杂的管路功能。

(3)软件设计过程中的安全问题

系统软件设计时,涉及到了很多安全连锁问题。例如,阀门和泵的开关顺序问题,过程启动时要求先开阀门,通路畅通后再开泵,结束时刚好相反,主要是为保护阀门不受损坏。螺杆泵启动前要保证回路畅通,激冷器启动前要保证管内流有高温液体,以免结冰。另外,生产中并不是所有的自动过程在任何时候都可以启动的,例如,发酵罐处于发酵阶段不能进行 CIP 操作,CIP 液配制时不能进行管路 CIP 等。这些安全连锁问题都要在软件设计时重视,以免误操作造成事故。

4 结束语

本套纯生啤酒生产自控系统是采用工业控制计算机、PLC 和现场仪表构成的集散控制系统,实现了生产过程的全自动实时控制。本系统在浙江天台石梁酒业集团实际应用,结果表明,系统虽然庞大,但运行稳定可靠,故障率低,控制精度高。实际检测表明,生产的各个环节的卫生指标均达到纯生啤酒的生产要求。

[收稿日期:2003.3.2]