

基于总线以太网的控制协议改进 An Improvement of Control Protocol Ameliorating Based on Ethernet Bus

农毅¹, 彭可²

NONG Yi¹, PENG Ke²

(1. 桂林电子科技大学管理学院, 广西桂林 541004; 2. 湖南师范大学工学院, 湖南长沙 410081)

(1. School of Management, Guilin University of Electronic Technology, Guilin, Guangxi, 541004, China; 2. School of Engineering, Hunan Normal University, Changsha, Hunan, 410081, China)

摘要:为了解决实时控制网络应用中的通讯实时性和确定性问题,提出在总线以太网上实现一种 CSMA/CD-Master/Slave 切换混合协议,并在其上构建 UDP/IP 协议,同时对该混合协议的实时性和可靠性进行计算机仿真分析。在实时控制网络应用中,当网络轻载时,采用 CSMA/CD 访问控制方式;当网络重载时,自动切换到 Master/Slave 方式,实现自动调节达到对介质的有限争用。仿真表明 CSMA/CD-Master/Slave 切换混合协议的应用能够提高通讯实时性和可靠性,可以保证控制网络的稳定性和实效性。

关键词: TCP/IP 协议 CSMA/CD Master/Slave 协议改进

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-7378(2008)02-0098-03

Abstract: In order to solve the problems of real-time communication and determinacy in real-time control network, the article put forward a kind of hybrid handoff protocol of CSMA/CD and Master/Slave according to loading variation influence real-time and certain control in the Ethernet bus control. The article also established the UDP/IP protocol on the basis of hybrid handoff protocol of CSMA/CD and Master/Slave. The result of simulation shows that the UDP/IP protocol can increase the real-time and reliability of communication, which is valuable in the computer network control.

Key words: TCP/IP protocols, CSMA/CD, Master/Slave, protocol ameliorating

随着技术的发展,控制系统中的网络化已经成为必然。TCP/IP 协议和以太网在工业控制网络中的应用是当前研究的热点,它具有系统成本更低、可以增加技术和器件通用性、便于与信息集成的优点^[1]。通讯实时性和确定性问题始终是控制网络应用中的制约因素,目前解决这种制约因素的主要方法有两种,一种是提高以太网传输速度和采用交换式以太网技术,另外一种则是改进协议。提高以太网传输速度和采用交换式以太网技术会造成成本提高和维护难度增加等问题。目前有研究对以太网提出基

于 UDP 协议之上的 Master/Slave 和 Producer/Consumer 两种方式改进协议^[2]。这种方式实质上舍弃了争用方式代之以主从式通讯。也有研究尝试在 MAC 层实现对控制应用的 Token-CSMA/CD 以太网混合协议^[3]。但是 Token 管理复杂,同时没有考虑 TCP/IP 协议在控制网络中的应用。本文提出一种总线以太网 CSMA/CD-Master/Slave 切换混合改进协议,并在该混合协议基础上给出 UDP/IP 协议的具体实现方法。

1 基本思想和层次结构

在总线以太网上实现对介质的访问控制方式中, Master/Slave 和 CSMA/CD 是两种基本的方

收稿日期: 2007-05-24

作者简介: 农毅(1973-),男,讲师,主要从事计算机网络研究。

式^[4]。Master/Slave 方式是在网络重载时,它对所有从节点公平访问,可以保证传输确定性,网络利用率较高;CSMA/CD 方式则是在网络轻载时,延迟小、效率高。在实时控制网络中,TCP/IP 协议为了便于互连,IP 层协议是必须的;在计算机以太网中,UDP 协议结构简单,相对 TCP 协议具有更好的实时性,因此从通讯实时性考虑,传输层协议通常只采用 UDP 协议,确认和流量控制在应用层实现^[5]。结合以上两点,在控制应用中采用 UDP/IP 协议集,在 IP 层和数据链路层之间引入 CSMA/CD-Master/Slave Polling 切换子协议层,实现自动调节达到对介质的有限争用。当网络轻载时,采用 CSMA/CD 方式;当网络重载时,自动切换到 Master/Slave 方式,以保证控制网络的稳定性和实效性。

2 基于总线以太网的控制协议改进

2.1 改进的混合协议

在控制网络中,负载的轻重体现为某一时刻不同节点同时进行通讯的需求,且这种需求具有一定动态性。当通讯发生冲突时,CSMA/CD 方式中节点连续碰撞的次数能够基本反应出这种需求。按照二进制指数退避算法^[6],发生冲突的节点经过 K 次退避成功发送后,网络最大传输时延为:

$$T_{\text{delay}}^K = \begin{cases} \sum_{i=0}^K [(2^i - 1) \times T_{\text{slot}} + T_{\text{trans}}^{(i)}], & (0 \leq K \leq 10); \\ \sum_{i=0}^{10} [(2^i - 1) \times T_{\text{slot}} + T_{\text{trans}}^{(i)}] + \sum_{i=11}^K [1023 \times T_{\text{slot}} + T_{\text{trans}}^{(i)}], & (10 \leq K \leq 16). \end{cases}$$

其中 i 为冲突次数, T_{slot} 为退避时间, $T_{\text{trans}}^{(i)}$ 为第 i 次冲突时发送成功节点的传输时间。因而,由控制应用对于数据传输实时性的时间要求,就能够确定在 CSMA/CD 方式下,单个节点连续冲突允许的次數 K 。由此可以设定混合协议由 CSMA/CD 切换到 Master/Slave 的条件为:当总线以太网上任何一个节点由于发送冲突,经过二进制指数退避算法 K 次后冲突仍不能解决,则认为此时网络负载已经很重,协议应当切换现有的网络接口设备均提供冲突检测功能,通过把连续冲突允许次数 K 作为参数传递给节点退避算法模块;则可以当网络负载加重时,冲突溢出节点发送进行协议切换的广播帧,使网络上所有节点均由 CSMA/CD 方式切换到 Master/Slave 方式。同理,当某个循检周期检测到网络仅有不超过 K 个从节点有信息发送,且它们缓冲区中均只有一

个待发数据帧,则所有节点切换回 CSMA/CD 方式^[7]。可以看出,此切换条件能够保证协议切换回 CSMA/CD 方式后,所有节点连续冲突的次数不大于 K ,从而避免了震荡。

2.2 UDP/IP 协议的实现方法

由总线以太网构成的一段底层控制网络结构如图 1 所示,一个节点作为主节点,其余为从节点。主节点和从节点都具有独立 IP 地址,各节点中的实时控制应用通过 UDP 协议不同端口号彼此通讯。

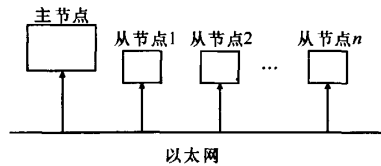


图 1 底层控制网络结构

改进混合协议的 UDP/IP 协议实现过程如下。

(1)系统启动阶段,主节点轮询整个子网的 IP 地址,各从节点向主节点确认 IP 地址,主节点中通讯控制表形成所有活动从节点的 IP 地址项。主节点随后发出运行命令使所有节点最初工作于 CSMA/CD 方式。

(2)网络轻载时,UDP/IP 协议无任何改变;CSMA/CD 模块通过连续冲突允许次数 K ,运行改进的二进制指数退避算法。

(3)网络重载时,即连续冲突次数超过 K ,该节点发送由 CSMA/CD 方式切换至 Master/Slave 方式的广播帧,使所有节点进行协议切换。

(4)网络运行于 Master/Slave 方式时:

①主节点按照通讯控制表中活动从节点 IP 项,发送 polling 帧,逐一循检从节点。

②从节点接收到 polling 帧后,将本节点各控制应用实时数据以 UDP 不同端口号封装。IP、UDP 包中源地址和源端口号为本节点 IP 和应用端口号,目的地址和目的端口号为数据要发送到节点 IP 地址和相应端口。在封装以太网数据帧时,改变 ARP 协议,目的物理地址改为主节点物理地址,源物理地址仍为本节点物理地址^[8]。

③主节点收到这种目的物理地址和 IP 地址不对应的数据帧(从本机 ARP 表可知),即能够知道该帧是要求转发的数据帧。主节点提取该帧 UDP 数据和目的 IP 地址,更新主节点内通讯控制表中相应源 IP 和 UDP 端口号的数据项和状态项。

④主节点转发数据包时,它以本机 IP 作为 IP 包源地址,目的 IP 地址为原数据包目的 IP。由 ARP

表取出目的 IP 地址对应之物理地址,以该物理地址作为以太网帧目的地址;以主节点本身物理地址作为以太网帧源地址,发送新组成以太网帧。这样可以完成节点间通讯透明性^[9]。

UDP/IP 协议实现过程中,加入新节点需要手工配置主节点的通讯控制表或者系统重新启动,从节点的退出则无需特别处理。在 CSMA/CD 方式,节点退出不影响混合协议的运行;在 Master/Slave 方式,利用主节点轮询超时,由通讯控制表删除该从节点对应项即可^[10]。

3 仿真分析

在总线以太网上设置 6 个节点,1 号节点为主节点,2~6 号为从节点且同时采样,采样周期相同;数据帧均为 500 字节;轮询帧设为 100 字节,取节点连续冲突允许次数 $K = 8$;仿真运行时间为 5s。在考查 CSMA/CD 方式、Master/Slave 方式、CSMA/CD—Master/Slave 切换混合协议 3 种情况下,当网络节点采样周期 T 变化时,即网络负载变化时,网络平均时延和节点平均丢包数的变化情况。

仿真节点平均时延与采样周期关系如图 2 所示,仿真节点平均丢包数与采样周期的关系图与图 2 基本一致,图略。由图 2 结果可以看出,当采样周期大于 3ms 时,因为节点存在同时采样,CSMA/CD 方式与 Master/Slave 方式网络时延基本相同;两者也都基本没有丢包发生。随着采样周期小于 3ms 后,CSMA/CD 方式下节点碰撞次数增加,其时延增加比 Master/Slave 方式更快,它平均丢包数也增长得更快。当采样周期小于 0.4ms 后,CSMA/CD 方式和 Master/Slave 方式性能曲线又将逐渐相同。由仿真结果可见,改进的切换混合协议确实能够提高网络性能。

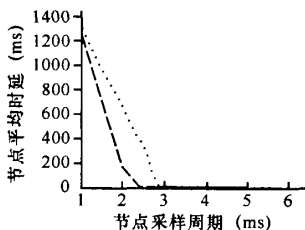


图 2 仿真节点平均时延与采样周期关系

— — —; Master/slave 方式; ·····; CSMA/CD 方式; ———; CSMA/CD-Master/slave 方式。

4 结束语

本文提出在总线以太网上实现一种 CSMA/CD-Master/Slave 切换混合协议,并在其上构建了 UDP/IP 协议。切换混合协议在网络负载轻时具有良好的实时性,在负载加重时能够保证通讯确定性,协议切换根据负载情况自动地实现。同时,由于采用了 TCP/IP 协议的子集,系统具有良好扩展和兼容性,具有一定的实际应用价值。

参考文献:

- [1] 陈在平,岳有军. 工业控制网络与现场总线技术[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [2] Lian F L, Moyné J R. Performance evaluation of control net-Works: Ethernet, ControlNet and deviceNet [J]. IEEE Control System Magazine, 2001, 21(1): 66-83.
- [3] Kapsalis V D, Koubias S A. Performance evaluation of a hybrid MAC-layer protocol for hard real-time industrial networks [J]. Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 1995, 11(7): 148-152.
- [4] 甘永梅. 现场总线技术及其应用[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [5] 刘怀,胡继峰. 一种应用于控制网络的新的媒体访问控制协议——Token-CSMA/CD 混合协议[J]. 测控技术, 2001, 20(6): 5-10.
- [6] 马莉,李学桥. 计算机网络技术·集成与应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001.
- [7] 彭可,陈际达. 控制系统网络化及控制系统与信息网络集成技术[J]. 信息与控制, 2002, 31(5): 441-445.
- [8] Douglas E Comer. 用 TCP/IP 进行网际互连:第 1、2 卷[M]. 北京:电子工业出版社,1998.
- [9] Vitturi S. On the use of ethernet at low level of factory communication systems[J]. Computer Standards & Interfaces, 2001, 23(4): 267-277.
- [10] Liu H, Hu J F. A new media access control for control network token-CSMA/CD hybrid protocol [J]. Measurement & Control Technology, 2001, 20(6): 5-10.

(责任编辑:韦廷宗)