

大型 DCS 系统中工业以太网通信协议的设计与应用

方 垒, 李今朝, 陈奎兆

(杭州和利时自动化有限公司, 浙江 杭州 310018)

摘要: 在分布式控制系统 DCS (Distributed Control System) 中, 网络通信是骨架, 对 DCS 系统十分重要。为了将传统的以太网技术应用于工业领域, 提出一种工业以太网协议技术——DNet (Determinate Net Protocol)。DNet 协议技术使得 DCS 网络通信中的数据运输满足工业控制的确定性、实时性、可靠性与安全性等要求。

关键词: DCS; 通信协议; 工业以太网

中图分类号: TP273.5

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)08-0079-04

Design and application of the industrial Ethernet technique in large scale DCS

Fang Lei, Li Jinzhao, Chen Kuizhao

(Hangzhou Hollysys Automation Co., Ltd., Hangzhou 310018, China)

Abstract: The communication is the base of the DCS (Distributed Control System). It is very important in DCS. One industrial Ethernet technique is investigated to apply the conventional ethernet technique into industry field. The industrial Ethernet technique is named DNet (Determinate Net Protocol). The communication realizes the determination, real-time performance, reliability and security by DNet.

Key words: DCS; communication protocol; industrial Ethernet

DCS 的系统网络是 DCS 的基础和核心。DCS 系统网络对于 DCS 整个系统的实时性、可靠性起着决定性的作用。以太网以办公自动化为目标设计, 其独特的优势在商业领域获得了广泛应用, 工业以太网的应用也越来越普及。但是将传统的以太网应用于工业领域还存在明显的缺陷。

(1) 不满足工业系统确定性、实时性要求^[1-2]。

由于以太网的 MAC 层协议是 CSMA/CD, 该协议使得网络上存在冲突, 特别是在网络负荷过大时, 冲突更加明显。对于一个工业网络, 如果存在着大量的冲突, 就必须多次重发数据, 使得网间通信的不确定性大大增加, 信息不能按要求实时传输。在工业控制网络中这种从一处到另一处数据传输的不确定性会带来系统控制性能的降低, 甚至引发设备与人身安全事故。

(2) 不满足工业系统可靠性要求。

在工业网络应用中。当以太网应用到工业现场, 面对恶劣的工况或严重的线间干扰时, 会引起可靠性的降低。在 DCS 系统中, 需要通过设备与网络的冗余来保证

系统的可靠性。

在此背景下, 本文提出一种可以解决传统以太网缺陷^[3-4]的应用于 DCS 系统的网络技术——DNet (Determinate Net Protocol)。DNet 是以以太网为基础, 为满足工业 DCS 系统特点而设计的工业以太网网络协议技术。

1 DNet 技术简介

DNet 协议是处于应用层与驱动层之间的协议技术, 在系统中的位置与 TCP/IP 协议平行。DNet 的核心模块是令牌调度模块, 令牌调度模块使用令牌环调度技术来实现。系统中所有节点首先注册到令牌环中, 通过令牌来控制数据发送的权限, 拥有令牌的节点才有发送数据的权限。令牌是指网络中很小的包含网络节点信息的数据包。在网络中, 任何时候都只有一个节点拥有令牌。令牌环中的节点收到令牌后发送数据, 数据发送完毕后再将令牌发送给令牌环中的下一个节点。令牌环节点数据发送流程如图 1 所示。

通过令牌调度模块, 控制数据发送权限, 保证了任何时候 DCS 系统网络只有一个节点在发送数据, 解决

应用奇葩

Example of Application



图1 DNet协议令牌环传递示意图

了以太网 MAC 层协议 CSMA/CD 引发的网络冲突。保证了数据传输的确定性和实时性。为了满足工业系统可靠性要求,设计实现了双网冗余,当数据通信的网络出现故障时,通过 DNet 协议技术可以快速无扰切换到冗余网络。

DNet 协议在系统中的位置与 TCP/IP 协议平行。DNet 协议在系统中的位置如图 2 所示。

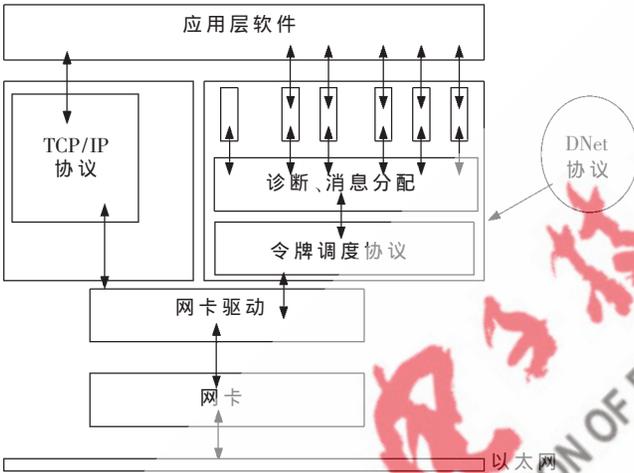


图2 DNet协议示意图

2 DNet 主要功能

通过 DNet 网络协议技术,主要实现了网络通信的下列功能:

- (1)数据通信。支持基于以太网报文的节点间任意点对点通信与广播通信方式;
- (2)双网冗余。支持双以太网冗余通信,通信主网故障时,可以快速无扰切换至冗余网通信;
- (3)站间引用。支持 DCS 系统 I/O 站站间数据引用;
- (4)域间引用。支持 DCS 系统多域之间数据引用。

通过 DNet 网络协议技术,使 DCS 系统满足了下述性能:

(1)数据传输的确定性、实时性。通过令牌环模块控制数据发送权限,保证了任何时候 DCS 系统网络只有一个节点在发送数据,解决了以太网 MAC 层协议 CSMA/CD 引发的网络冲突;保证了数据传输的确定性和实时性。

(2)安全性。DNet 协议是专用协议,对于病毒等第三方软件,该协议的入口是保密的,垃圾数据不会通过 DNet 协议发送到网络中。

(3)DNet 协议支持的网络最大节点数为 255 个,可以满足大部分 DCS 系统的规模要求。

(4)兼容性。DNet 协议能自动绑定网卡,收发数据。数据格式兼容标准以太网帧结构,可以在标准以太网网卡和交换器上传输。

3 DNet 设计方法

DNet 协议技术的实现主要是令牌环模块的实现,如何调度组织令牌环是 DNet 协议技术的核心。令牌环的管理包括令牌环的生成、令牌环中主节点的选取、令牌环中节点离线的处理、令牌在令牌环中的传递管理以及令牌环遇到故障时的处理等。

3.1 令牌环的生成

令牌环包括一个主节点和多个从节点,从节点是网络中的节点通过向主节点注册后才加到该令牌环的,其中注册过程在每次令牌传递一周后进行。令牌环的生成步骤如图 3 所示。

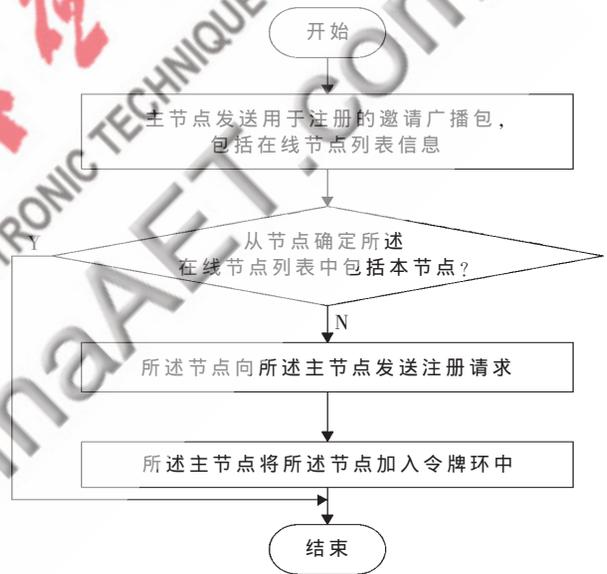


图3 令牌环生成示意图

3.2 令牌环主节点的选取

令牌环中的主节点负责令牌环的管理以及令牌调度。主节点的选取根据下述流程进行:在节点启动时,默认该节点为主节点并为该节点配置一个令牌沉默超时计数器,如果在预先设置的时间内没有得到令牌,则确定当前的主节点离线,触发所述令牌沉默超时计数器,发送抢主信息,参与抢主。如果该节点成为主节点后,网络中出现比该节点优先级更高的节点,则该节点从主节点降为从节点;如果在同一时刻多个从节点试图变为主节点时,根据预定的优先级顺序,优先级低的放弃。令牌环节点的主从状态迁移如图 4 所示。

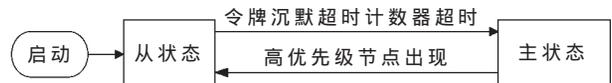


图4 令牌环节点主从状态迁移图

应用奇葩

Example of Application

3.3 从节点的离线处理

当从节点离线时,会导致主节点发出的令牌不能回到主节点,如果连续 3 次发出的令牌都超时,且未能收回,主节点认为令牌环断开,主节点需要将当前在线节点列表清空,并重复发起节点在线注册过程,重新生成令牌环。

3.4 令牌在令牌环中的传递

令牌是指网络中很小的包含网络节点信息的数据包。令牌在令牌环中的传递步骤,如图 5 所示。

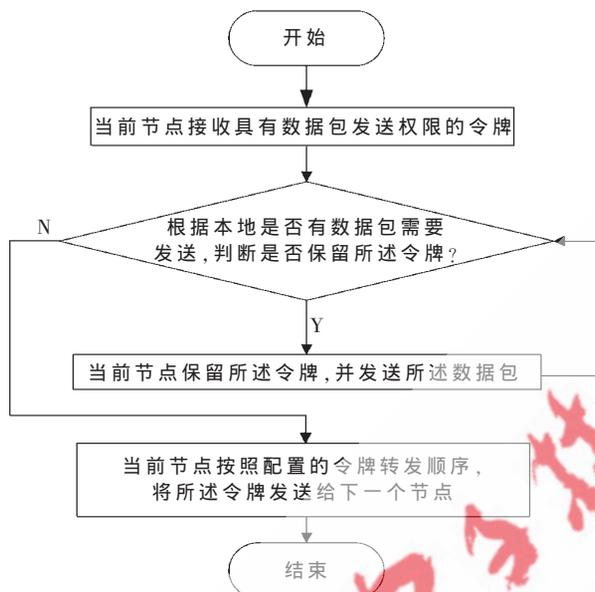


图 5 令牌传递示意图

当所述令牌最后转发到所述主节点时,当前的令牌转发周期结束,进入下一个令牌转发周期。

3.5 令牌丢失处理

如果所述令牌在转发过程中丢失,触发所述主节点重新开始一个令牌传递循环,不会发起重新建立令牌环的过程。如果连续 3 次发生令牌丢失,则需要重新建立令牌环。

4 DNet 典型应用

以台山火电现场与红沿河核电现场的现场应用为例,介绍 DNet 技术在 DCS 系统的应用效果。

4.1 DNet 技术在台山百万千瓦火电现场的应用

台山项目单机组 DCS 系统结构简单示意图如图 6 所示。

系统网使用 DNet 协议实现网络通信。通过 DNet 协议实现了数据服务器对 54 个主控单元的数据采集与控制,每个主控支持 20 000 通信点项的要求。数据采集周期为 500 ms,即在 500 ms 内数据采集服务器可以完成对 54 个主控单元的数据采集。操作员站对主控的数据控制可以在 250 ms 内完成。如果系统网有任意一段网络出现故障,可以通过 DNet 协议实现双网无扰切换,保证数据通信的连续性与可靠性。

4.2 DNet 技术在红沿河核电现场的应用

红沿河项目单机组 DCS 系统结构简单示意图如图 7 所示。

红沿河核电项目的系统网配置比火电项目的配置更为复杂,包括 35 对主控单元、10 对通信站和 5 对网关。主控单元支持 20 000 通信点项、通信站与网关支持 30 000 通信点项的要求。通过 DNet 协议保证数据采集服务器 500 ms 的数据采集周期。操作员站对主控的数据控制可以保证在 250 ms 内完成。系统网任意一段网络出现故障时,通过双网无扰切换保证了数据通信的连续性与可靠性。

综上所述,经过在台山火电现场与红沿河核电现场的应用,实践已经证明 DNet 工业以太网协议很好地满足了 DCS 系统数据通信的确定性、实时性、可靠性与安全性要求。

DNet 网络协议技术,采用了令牌控制数据包传输权限,使数据包传输过程中具有确定的传输时延,保证了数据包的传输确定性和实时性。通过 DNet 专属协议,过滤掉网络中不属于此协议的数据包,减少了非法数据包的侵入,有效避免了网络风暴的产生以及对系统的冲

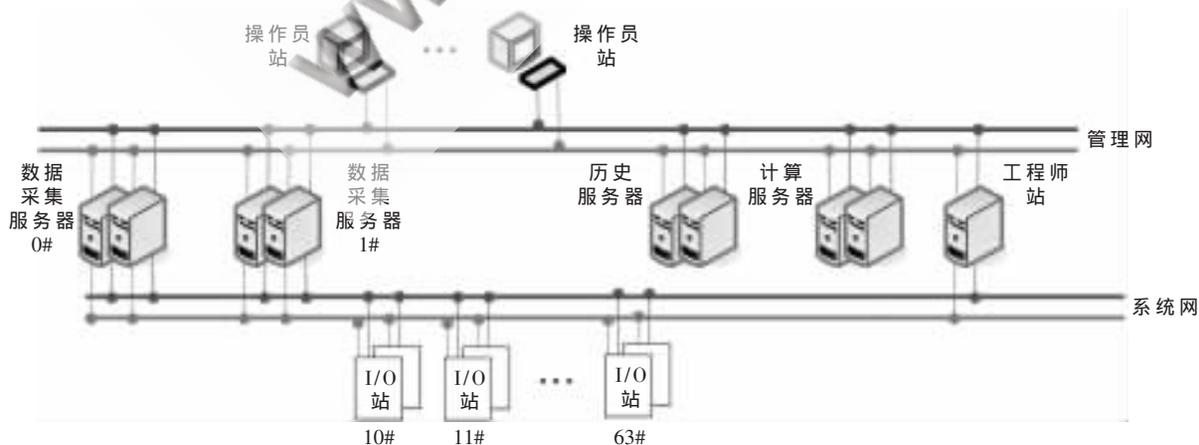


图 6 台山火电现场 DCS 结构示意图

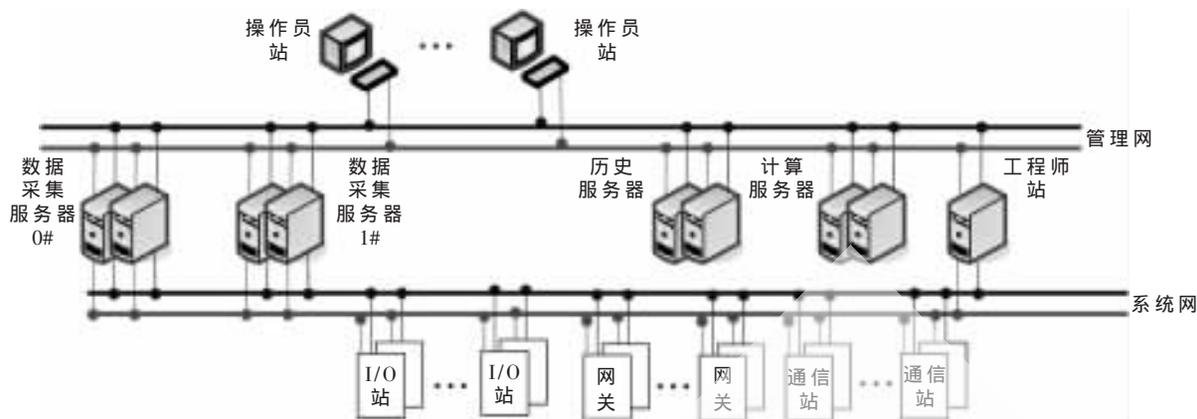


图7 红沿河核电现场 DCS 结构示意图

击,提高了网络的安全性。通过实现双网冗余,进一步增强了系统的可靠性。采用 DNet 协议技术的和利时 DCS 系统 MACS 成功应用于核电、火电、化工等行业近 3 000 个工业控制现场。实践证明,DNet 协议技术很好地满足 DCS 系统对网络通信的要求,保证了 DCS 系统网络数据传输的确定性、实时性、可靠性和安全性。

参考文献

- [1] 王常力,罗安. 分布式控制系统(DCS)设计与应用实例[M].北京:电子工业出版社,2004.
- [2] 张文超,徐保国.工业计算机网络[J].工业控制计算机,1991,4(4):23-26.
- [3] 杨昌馄.正在进入控制领域的工业以太网[J].世界仪表与

自动化,2001,5(11):52-56

- [4] WALSH G. C, Ye Hong. Scheduling of networked control system[J]. IEEE Control System Magazine, 2001, 21(1): 57-65.

(收稿日期:2010-10-19)

作者简介:

方垒,男,1976年生,高级工程师,主要研究方向:自动化控制系统、工业控制网络。

李今朝,男,1975年生,工程师,主要研究方向:电厂热控。

陈奎兆,男,1982年生,工程师,主要研究方向:DCS 网络通信。