

网络控制系统的通信机制分析与应用

李 明¹,马灿明²,吴石书³,王 建¹,漆海霞¹

(1.华南农业大学 工程学院,广东 广州 510642;

2.张家港市供电公司,江苏 张家港 215600;3.青岛供电公司,山东 青岛 266002)

摘要: 对基于通信网络的控制系统展开研究,提出网络控制系统 NCS(Networked Control System)的概念,描述其结构特点及功能分配,指出它是控制与信息的和谐统一。对 NCS 的通信机制进行重点研究,分析了信息的流动过程,时延的产生及构成。对由于通信网络的参与引起的控制系统性能的变化进行了讨论。结合水力发电机组状态监测的实际,提出了一种具有 LonWorks+ 交换式以太网结构的 NCS,并对其进行了阐述。

关键词: 网络控制系统; 通信网络; 时间延迟; LonWorks; 交换式以太网

中图分类号: TN 915;TP 273*5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6047(2006)01-0029-04

工业控制系统可以有多种方法实现,如过去常用的气动仪表控制系统,电动单元组合式模拟仪表控制系统等。随着计算机产业的迅速发展,工业控制计算机系统已逐步取代了其他常规控制系统。以计算机为核心的控制系统结构经历了集中、分散和集散几个变化。纵观控制系统的发展史,不难发现,每一代新的控制系统的推出都是针对老一代控制系统存在的缺陷而给出的解决方案,最终在用户需求和市场竞争两大外因的推动下占领市场的主导地位。

集中控制系统只有一个微处理器,控制和危险高度集中。集散控制系统(DCS)具有管理集中、控制分散的特点,DCS 中各部分通过高速数据通道传送数据和信息,但 DCS 是一种半数字化的控制系统,布线复杂,且其高速数据通道是封闭专用的。现场总线控制系统(FCS)是目前测控领域研究热点之一;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、多分支结构的通信网络,是一种用于过程自动化和制造自动化等领域中最底层的通信网络^[1-2]。目前,现场总线种类繁多,每种现场总线所用协议各不一样,采用一种现场总线的设备不能直接挂接到其他现场总线系统中,每种现场总线各有所长,都有其占优势的应用领域,所以目前现场总线并无统一的国际标准,也未实现互操作性和互换性。

1 网络控制系统

随着计算机控制系统进一步向数字化、网络化、智能化方面发展,网络控制系统 NCS (Networked Control System)开始形成并逐步应用于工业生产过程。NCS 是计算机控制系统的更高发展,是控制系统最新的表示形式。NCS 是指一种基于通信网络的全数字、分层次的实时计算机控制系统,它是某一区域内的智能现场设备、通信网络、自动化装置及计算机系统的集合,NCS 用以实现对生产对象的自动测量和控制,提供设备之间的数据传输,使该区域

收稿日期:2005-07-06

=====

内不同地点的用户实现资源共享和协调操作。NCS 是生产控制与信息管理的和谐统一,是计算机技术和通信网络技术在控制领域的延伸和应用。DCS、工业以太网和 FCS 从某种意义上都属于 NCS^[3-4]。

NCS 是在网络环境下实现对生产对象的测量和控制,兼有 DCS 和 FCS 的优点。可以把 NCS 分为节点和通信网络两大部分。其中节点包括智能仪器仪表、自动化装置、计算机系统等设备。通信网络是用于控制系统以完成自动化任务的网络技术,也可以称之为控制网络,是 NCS 的核心与纽带,它将 NCS 中的各个节点连接起来,使其成为一个和谐的整体。NCS 可用图 1 表示,从整体逻辑结构上讲,NCS 呈分层递阶状,在垂直结构上一般可分为现场层、监控层和管理层等,各层相互联系又相互独立,每层又可分为若干子集。其中底层网络和设备是整个系统的关键,承担信息的获取和对被控对象实施控制的任务;上层网络和设备主要承担管理、协调及复杂测控任务,实现远程测控和信息的开放;只有上下层之间功能分配合理,配合紧密,NCS 才能成为一个和谐整体。

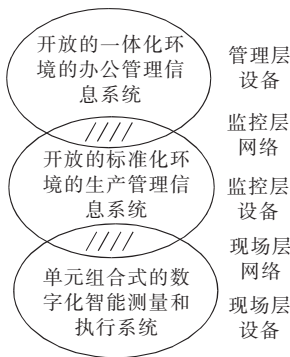


图 1 NCS 示意图

Fig.1 Schematic diagram of NCS

2 NCS 的通信机制分析

NCS 与传统的控制系统相比,采用多点一线的数据传输方式,将测量与控制回路分布在通信网络上,将中央控制单元直接接收检测信号和发送控制信号的多路并行信号传输方式,转变为通过网络实现数据交互的串行通信方式。NCS 通过位于控制系统部件之间的通信网络交换信息,只有通信网络的参与,NCS 才能完成对生产对象的测量和控制。NCS 典型的信号流动可用图 2 表示^[5-8],其中 $\tau_{sc}(k)$ 是信号通过通信网络由传感器到控制器产生的时延, $\tau_{ce}(k)$ 是控制器到执行器的时延 (k 为采样序列)。

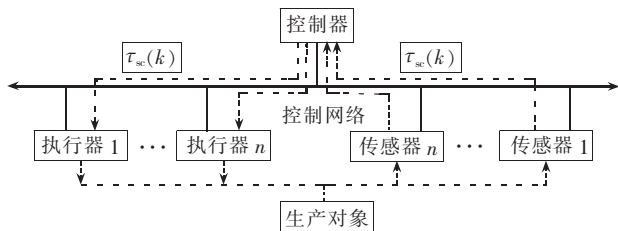


图 2 NCS 信号流动的基本过程 1

Fig.2 Basic information flowing procedure 1 of NCS

NCS 中的传感器和执行器,具有网络接口,能通过网络与其他节点交换信息,传感器将采集到的信号通过网络传送给控制器,控制器通过一定的算法发出控制决策,并将决策通过网络发给执行器。有

些现场设备(如传感器、执行器等)不但具有网络接口,拥有数据通信能力,而且具有控制运算能力,所以现场信号的流动过程可进一步表示为图 3 所示, $\tau_{se}(k)$ 是信号通过通信网络由传感器到执行器产生的时延。图中,单独的控制器不再存在,网络结构进一步分散化,控制功能进一步现场化。

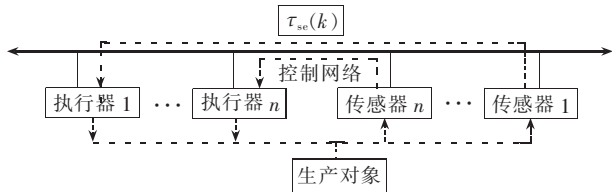


图 3 NCS 信号流动的基本过程 2

Fig.3 Basic information flowing procedure 2 of NCS

由于信号在网络上传输需要一定的时间,所以 NCS 中各部件所收集的信号是经过时延的信号,这就不能真实地反映出系统当前的状态。为了分析时延,作如下假设:

a. 传感器节点采用时间驱动 (time-driven) 方式,即在采样时钟的作用下对被控对象进行等周期采样,采样周期为 T ;

b. 控制器节点和执行器节点采用事件驱动 (event-driven) 方式,信号的到达时间即为相应节点的动作时间;

c. 整个控制回路总的时间延迟 $\tau_{se}(k) = \tau_{sc}(k) + \tau_{ce}(k) < T$, 且 $\{\tau_{se}(k)\}$ 为一相互独立、具有相同概率分布、统计特性已知的随机变量序列。

在上述假设条件下,可画出控制系统中各信号的时序图如图 4 所示(图中 u_1 为生产对象输出, u_2 为控制器输入, u_3 为执行器输入, u_4 为生产对象输入)。

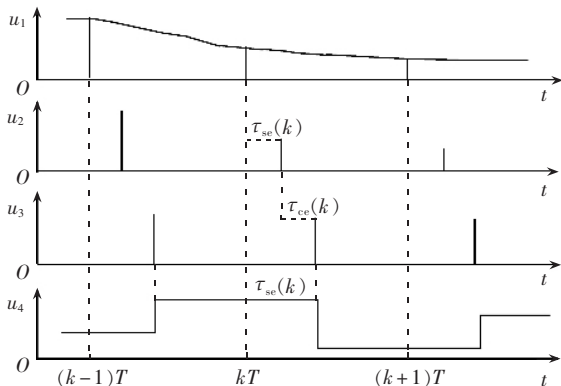


图 4 NCS 中信号的时序图

Fig.4 Timing diagram of signals in NCS

由于通信网络的涉入,使常规控制理论的一些理想假设如同步控制和非延迟的检测和执行等,在应用到 NCS 之前必须重新评价。特别地,下面几个问题必须考虑^[9]。

a. 当连接在共享介质上的设备之间交换数据时,存在由于网络产生的时间延迟(即时延),包括传感器到控制器的时延、控制器到执行器的时延以及传感器直接到执行器的时延。这会降低设计时没有考虑延迟的系统的性能,甚至动摇整个系统。

b. 数据传输的可靠性。网络可以看作一片不可靠的传输路径。一些数据报传输时不仅有延迟,甚至在传输过程中会丢失。因此,数据报的丢失如何影响 NCS 的性能是必须考虑的另一个问题。

c. 网络带宽和数据包容量的限制,多通道传输不可避免。一条通信线路上可同时构成多个控制环。

3 网络控制系统的应用研究

水力发电机组是水电站的重要设备,必须及时掌握机组的运行状态,防止事故发生。水力发电机组的状态监测,就是采用计算机监控系统对水力发电机组的运行状态进行全面检测、记录、监视、分析和预测,当发现设备运行出现异常情况时,合理科学地作出判断,并提供可靠的报告,以作为水力发电机组检修的依据。状态监测系统应具备以下功能:

- a.** 能对机组启动、运行、停机和实验等工况进行数据采集、储存和显示;
- b.** 机组出现异常时,能记录异常前后的数据,以便进行事故追忆和事故预测;
- c.** 所监测的数据以曲线图显示和做成报表,可对数据随时间、工况的变化进行分析,以便对数据变化的独立性、规律性进行研究,从而实现对水力发电机组的故障实时诊断。

结合大中型水力发电机组状态监测的实际,下面提出一种具有 LonWorks+ 交换式以太网的网络控制系统,如图 5 所示。

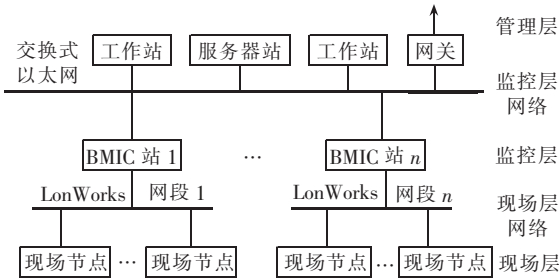


图 5 一种具有 LonWorks+ 交换式以太网的网络控制系统

Fig.5 NCS with LonWorks plus switched Ethernet

该 NCS 具有 3 个层次,2 种网络。3 个层次为现场层、监控层和管理层,2 种网络为 LonWorks 现场总线和交换式以太网。现场层位于 NCS 的最底层,由多个 LonWorks 现场节点构成,主要负责对现场信号采集、存储,由于采用 LonWorks 现场总线实现节点之间数据和信息交换,因而能靠近测点布线。监控层由多个服务器站组成,服务器一方面接收现场节点传送来的数据,进行相应的处理并将数据存储到服务器数据库中,另一方面服务器向管理层提供数据访问服务。管理层位于系统的最上层,完成对水力发电机组的状态监测和故障诊断功能,同时能向外部发布信息,实现监测与管理的和谐统一。

用 LonWorks 构建现场层网络以满足现场节点

之间通信的高实时性、高可靠性要求;同时,一个水力发电机组的数据采集节点挂接在同一个网段上,减少每个网段的站点数,使每个网段在负载较轻的情况下运行,为每个节点提供更多的带宽。LonWorks 技术是美国 Echelon 公司于 20 世纪 90 年代初推出的一种现场总线技术,它提供了构造 NCS 的完整平台。Lonworks 现场总线使用 LonTalk 协议,包含有 OSI/RM 协议的 7 层,节点之间采用网络变量或显示消息传递数据,LonTalk 协议采用可预测的 P 坚持 CSMA 算法,这样在网络负载很重的情况下,能避免网络拥塞,实时性较好。LonWorks 可采用多种通信介质,最高传输速率可达 1.25 Mbit/s,一个 LonWorks 网络上可挂接 32 000 个节点^[1-2,10]。

用交换式以太网构建监控层网络,以满足监控层设备之间及监控层设备与管理层设备之间通信的要求。以太网 Ethernet 作为一种成功的网络技术,进入市场已近 20 年了,在办公自动化方面获得了广泛的应用,受到广泛的技术支持,并且成本低廉,另外目前 100 M 的以太网已广泛应用,1 000 M 以太网技术逐渐成熟,10 G 以太网正在研究,所以以太网速率比目前的现场总线快得多,这些都是以太网的优势所在。但以太网采用 CSMA/CD 的介质存取控制技术,各个节点采用二进制指数退避算法(BEB)处理冲突,具有数据传输及时延不确定的缺陷,这使以太网在工业领域的应用受到一定的限制。交换式以太网使用交换式集线器组建网络,在源端和目标端之间提供一个直接快速的点到点连接,从交换式集线器流入的数据包直接从和它相连的目的站接口流出。交换式集线器把网络分成不同的冲突域,将冲突域由整个网络减小到各自的端口,从而大大减少了网络冲突的发生,提高了数据传输的确定性和实时性^[11]。所以用交换式以太网构建监控层网络是非常理想的选择,另外采用以太网技术便于将控制系统接入 Internet,实现远程监测和管理。

4 结语

随着控制系统规模的日益扩大以及通信网络软硬件成本的下降,通信网络在控制系统中的作用越来越重要。在 NCS 中,传感器、控制器、执行器等节点都通过共同的通信网络相连,因此它具有连线少、可靠性高、易于扩展等优点。NCS 将测量控制功能彻底下放到生产现场,在上层进行整体维护和管理,同时还通过 Internet 向外界发布信息,所以 NCS 实现了控制与信息的和谐统一。

NCS 是一种实时系统,实时性意味着系统的正确性不仅与系统得到结果的正确性有关,还与结果产生的时间有关。NCS 是一种以通信网络为核心的控制系统,只有通信网络的参与,NCS 才能完成对生产对象的测量和控制,所以 NCS 的实时性在很大程度上

取决于通信网络的实时性。NCS 是一个开放的系统,在 NCS 的上层可与 Internet 互连,实现远程监控和信息的开放化,因而 NCS 存在通过网络被外界攻击和破坏的可能,这将对 NCS 的安全构成极大的威胁^[12]。因此,通信网络的实时性和安全性是 NCS 必须重视的一些问题。NCS 涉及控制和通信网络 2 方面内容,本文主要从通信网络的角度对 NCS 进行了一些探讨和分析。

参考文献:

- [1] 邹益仁,马增良,蒲维. 现场总线控制系统的设计和开发[M]. 北京:国防工业出版社,2003.
- [2] 雷霖. 现场总线控制系统网络技术[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [3] WALSH G C, YE Hong, BUSHNELL L G. Stability analysis of networked control Systems[J]. **IEEE Transactions on Control Systems Technology**, 2002, 10(3): 438-446.
- [4] ZHANG Wei, BRANICKY M S, PHILIPS S M. Stability of networked control systems[J]. **IEEE Control System Magazine**, 2001(2): 84-99.
- [5] WU Feng-ge, SUN Fu-chun, XUE De-qian, et al. Problems and strategies of networked control systems[C]//**Proceedings of IEEE TenCON'02**. [S.l.]: IEEE, 2002: 1692-1695.
- [6] HART S, VOZDOLSKY N, DJAFERIS T E. A class of networked control systems: architecture, design and implementation[C]//**Proceedings of the 41st IEEE Conference on Decision and Control**. Las Vegas, USA: IEEE, 2002: 1643-1648.
- [7] LI Shan-bin, WANG Zhi, SUN You-xian. Fundamental problems of networked control system from the view of control and scheduling[C]//**28 th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics**. [S.l.]: IEEE, 2002: 2503-2508.
- [8] YEPEZ J, MARTI P, FUERTES J M. Control loop performance analysis over networked control systems[C]//**28 th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics**. [S.l.]: IEEE, 2002: 2880-2885.
- [9] 杨丽曼,李运华,袁海斌. 网络控制系统的时延分析及数据传输技术研究[J]. **控制与决策**, 2004, 19(4): 361-366.
YANG Li-man, LI Yun-hua, YUAN Hai-bin. Analysis of time delay in networked control systems and study of data transmission technology[J]. **Control and Decision**, 2004, 19(4): 361-366.
- [10] 杨育红. Lon 网络控制技术的应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1999.
- [11] 陈积明,王智,孙优贤. 工业以太网的研究现状及展望[J]. **化工自动化及仪表**, 2001, 28(6): 1-4.
CHEN Ji-ming, WANG Zhi, SUN You-xian. The research status quo and prospect of industrial ethernet[J]. **Control and Instruments in Chemical Industry**, 2001, 28(6): 1-4.
- [12] 顾洪军,张佐,吴秋峰. 网络控制系统的实时特性分析及数据传输技术[J]. **计算机工程与应用**, 2001, 37(6): 38-40.
GU Hong-jun, ZHANG Zuo, WU Qiu-feng. Analysis of real-time property and data transferring technology of networked control system[J]. **Computer Engineering and Applications**, 2001, 37(6): 38-40.

(责任编辑:李玲)

作者简介:

李明(1975-),男,湖北汉川人,讲师,博士,主要从事分散控制系统、实时控制网络方面的教学与研究(E-mail: lettermail@163.com);

马灿明(1970-),男,江苏苏州人,总工程师,从事电力系统自动化方面的研究;

吴石书(1972-),男,湖北咸宁人,工程师,从事高压绝缘在线监测与控制研究;

王建(1968-),男,湖北武汉人,副教授,从事光电信号检测与控制研究;

漆海霞(1969-),女,湖南醴陵人,高级工程师,从事智能检测与控制技术研究。

Analysis and application of NCS communication mechanism

LI Ming¹, MA Can-ming², WU Shi-shu³, WANG Jian¹, QI Hai-xia¹

(1. South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. Zhangjiagang Power Supply Company, Zhangjiagang 215600, China;

3. Qingdao Power Supply Company, Qingdao 266002, China)

Abstract: Communication network based control system is researched, and the concept of NCS (Networked Control System) is presented. Its framework characteristics and function allocation are described, and it is a harmonious entity of control and information. The communication mechanism of NCS is emphatically researched. The information flowing procedure in NCS is analyzed, as well as the generation and components of network-induced time delay. The performance changes of control system caused by the insertion of communication network are discussed. Combined with the facts of state monitoring of hydroelectric generator, a NCS with LonWorks plus switched Ethernet is presented, and its functions are discussed in detail.

Key words: NCS; communication network; time delay; LonWorks; switched Ethernet