

文章编号: 2097-096X(2024)-06-0632-08

UDP 协议及 IP 组播通信模型在水电厂监控系统中的应用研究

吴小锋¹, 刘晓波², 赵逸飞², 张毅², 常东亮¹, 李坤鹏¹

(1. 河南电网宝泉抽水蓄能有限公司, 河南 新乡 453000; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

摘要: 为提高水电厂监控系统性能, 本文研究提出了水电厂监控系统新型通信模型。论文基于以太网的开放系统互联参考模型 OSI(Open Systems Interconnection Reference Model) 架构, 分析了目前水电厂监控系统普遍采用单播和广播相结合的以太网通信的优点和不足, 分析了传输控制协议 TCP(Transmission Control Protocol) 模型架构和报文发送、握手连接及断开连接过程, 阐述了用户数据报协议 UDP(User Datagram Protocol) 网络模型的特点, 提出了改进 UDP 网络协议安全性的措施。本文系统对比分析了单播、组播和广播网络信息传输模型的特点, 探讨了单播、组播和广播网络信息传输模型与 TCP 和 UDP 相结合的以太网网络通信模型的特点。基于对 TCP 网络协议模型在广播中的可靠性与实时性研究, 本文提出了一种 UDP 与 IP 组播技术相结合的新型水电厂计算机监控系统网络通信模型, 可大幅提高监控系统通信实时性和可靠性, 并通过实际工程应用案例进行验证和分析, 为水电厂计算机监控系统通信模型建立提供新的选择, 具有巨大的应用前景和推广价值。

关键词: 通信协议; TCP; UDP; 广播; 组播; 单播; 监控系统

中图分类号: TN915

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr.20240055

1 研究背景

随着计算机技术的发展, 以太网技术应用范围越来越多地覆盖到国民经济的各个领域。TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol) 网络协议作为以太网技术中重要组成部分, 在世界范围内应用超过 95% 以上份额^[1]。全球能源结构处于剧烈的转型与升级之中, 常规水电机组与抽蓄机组作为一种清洁、可再生能源, 其规模不断扩大。随着水电厂计算机监控系统监控应用范围逐渐扩大, 接入的信息类型越来越多, 对于监控系统的实时性、可靠性要求越来越高^[2-4]。

在国内, 水电厂监控系统的通信主要采用传统的 TCP 协议和广播通信方案。TCP 协议因其可靠性高而被广泛应用, 但其实时性和效率方面存在不足。如何有效利用先进的计算机网络技术, 提高水电厂监控系统的实时性、可靠性和效率, 成为计算机监控系统及自动化系统当前值得研究的重要课题。

广播通信方法能够实现简单的一对多通信, 但由于其不具备选择性广播的能力, 容易导致网络拥塞, 影响系统的实时性和稳定性。

组播技术因其在数据传输效率和网络资源利用方面的显著优势, 被认为是解决上述问题的有效手段之一。1988 年首次提出 IP 组播技术, 因其具有传播高效的特点, 迅速成为网络技术研究关注的焦点之一。UDP 协议和组播技术在水电厂计算机监控系统中的应用, 可提高通信效率和系统响应速率。UDP 协议简化了数据传输过程, 降低了系统延迟; 而组播技术支持高效的一对多通信, 减少了网络带宽的占用, 提高了数据传输的效率。基于 UDP 的数据传输方法和 IP 组播技术相结合, 可利用两者的优点, 在国外工程应用案例已得到成功。这种方案的应用不仅能够提升水电厂监控系统的实时性能,

收稿日期: 2024-04-06; 网络首发时间: 2024-09-27

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/10.1788.tv.20240926.1018.003>

基金项目: 中国水利水电科学研究院基本科研项目(AU0145B022021)

作者简介: 吴小锋(1988-), 工程师, 主要从事抽水蓄能电站自动控制研究。E-mail: sxwx2007@163.com

通信作者: 刘晓波(1965-), 正高级工程师, 主要从事水电厂计算机监控系统技术、水电厂自动化、智能化、智慧化和标准化技术研究。E-mail: liuxb@iwhr.com

还能够增强系统的可扩展性和灵活性。采用 UDP 和组播技术，可以有效解决现有系统中的通信瓶颈问题，提高系统的整体性能和可靠性。因此，研究 UDP 和组播技术在水电厂计算机监控系统中的应用，对于推动我国水电厂计算机监控技术的进步具有重要的意义。

本文通过对相关不同通信技术的研究，以及相关案例的分析，研究组播技术在水电站计算机监控系统中的应用机制以及面临的问题与解决方案，提出了适合我国水电厂计算机监控系统当今应用场景的组播通信模型，为水电厂计算机监控系统通信模型提供新的选择。

2 TCP 和 UDP 的以太网协议模型

2.1 OSI 七层模型 计算机网络是个十分复杂的体系结构，为了实现不同体系结构的计算机网络的互联，国际标准化组织(International Standards Organization, ISO)于 1977 年提出了 OSI 模型^[5-7]。OSI 模型如图 1(a)所示，包括物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层共七层。

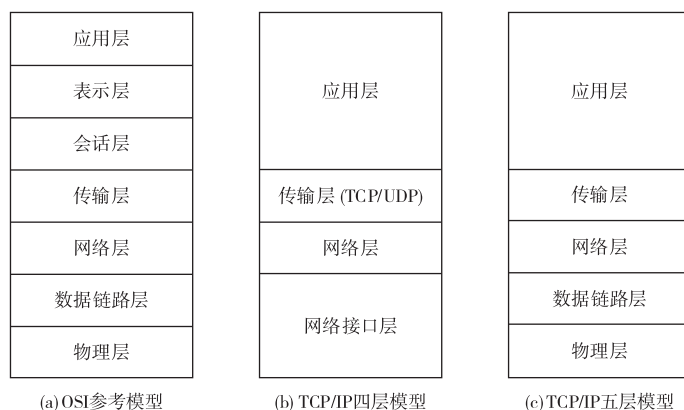


图 1 计算机网络结构

Fig.1 Structure of computer network

OSI 模型结构完整，但较复杂，在实际应用中一般都进行不同程度的简化。TCP/IP 模型是最为常用的简化结构，常见的有四层和五层两种结构，如上图 1(b)、图 1(c)所示。这些结构包含应用层、传输层、网络层和网络接口层(或数据链路层、物理层)。TCP/IP 的应用层同时包含 OSI 模型中会话层和表示层的功能，根据不同应用的实现需求使用不同的应用层协议。传输层和网络层结构功能大致相同。传输层定义了两种传输协议，一个是传输控制协议 TCP，能实现可靠传输；一个是用户数据报协议 UDP，能实现快速传输。网络层可以实现网络连接的建立和终止以及 IP 地址的寻找等功能。网络接口层兼并了物理层和数据链路层，既是传输数据的物理媒介，也可以为网络层提供一条准确无误的线路^[8]。

2.2 TCP 协议模型

2.2.1 TCP 协议特点 TCP 是一个面向连接的、可靠的、基于字节流的端到端通信协议。TCP 通过定义两台通信设备之间传输数据的格式，以及一系列控制机制，包括数据分片、到达确认、超时重发、滑动窗口、失序处理和数据校验等，以确保数据传输的可靠性，实现流量控制，避免缓冲区溢出。

TCP 是一个面向连接的协议，其连接是逻辑连接，而不是物理意义上的连接。在数据传输前，通信双方需要建立稳定连接才能进行信息交互，并在数据传输完成后根据设计要求断开连接以释放信道资源。

2.2.2 TCP 报文 TCP 报文段是通信设备上的 TCP 软件间传输的数据单元，通过报文段的交互来实现传输数据、发出确认、通知窗口大小以及关闭连接等操作。传输层的 TCP 协议的任务是将来自应用层的数据分块并封装成 TCP 段后发送到网络层，加上 IP 首部后，再传送到数据链路层，加上帧首部完成封装后，从主机出发通过物理链路发送到网络上的下个设备，如图 2 所示。

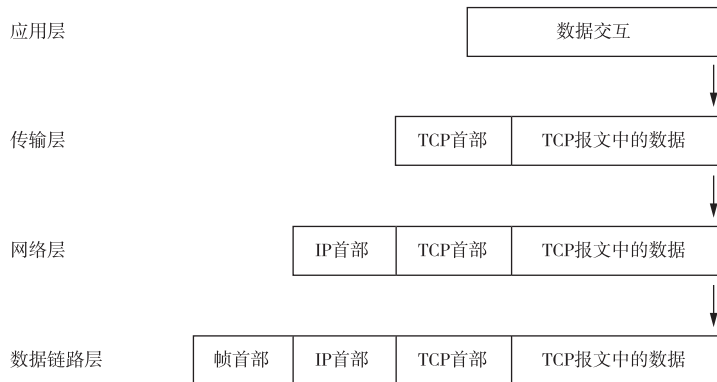


图 2 TCP 数据封装过程

Fig.2 Encapsulation process of TCP data

其中，TCP 报文段分为首部和数据两个部分，具体结构如图 3 所示。报头携带了标识和控制信息，包括源端口、目的端口、顺序号、确认号等字段。

源端口				目的端口			
顺序号							
确认号							
数据偏移	保留	URG	ACK	PSH	RST	SYN	FIN
校验和				窗口大小			
数据							填充

图 3 TCP 报文字段

Fig.3 Message fields of TCP

TCP 报文中源端口和目的端口分别包含了应用程序的发送端和接收端的 TCP 端口号，端口号和 IP 地址组成套接字(socket)，可以依据发送端和接收端的套接字确定唯一一条 TCP 连接。在 TCP 传输的字节流中，顺序号用于确认该报文段在 TCP 传输的字节流中的位置。发送端依据回复报文中的确认号可以判断接收端已经成功接收的数据。数据偏移指的是 TCP 报文中数据起始位置相对于报文段起始位置的距离。标志位如 SYN、ACK、FIN 等用于控制 TCP 连接的建立、数据传输和连接释放。窗口大小是指发送端数据缓冲区当前能够接受的数据量，避免缓冲区溢出。校验和用于检测数据报在传输过程中是否出错，出错会将数据丢失并重传^[5-7]。

2.2.3 TCP 连接与释放 一个完整的 TCP 连接包括建立连接、数据传输、释放连接三个部分，如图 4 所示。

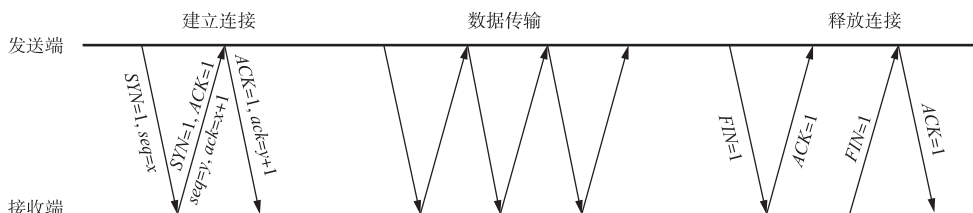


图 4 TCP 连接的建立与释放

Fig.4 Establishment and release of TCP connection

在信息传送前，TCP 需要通过“三次握手”过程建立连接：发送网络连接请求、接收端收到报文并发送回复报文及连接请求、发送端接收报文并发送回复报文。“三次握手”保证了全双工的数据传输，以及通信双方在数据传输过程中的可靠性。

断开 TCP 网络连接状态时，TCP 需要经历四次“挥手”：发送网络连接断开请求、接收端发送回复报文、接收端发送断开请求、发送端收到报文，发送回复报文，至此 TCP 连接断开。

2.3 UDP 协议模型

2.3.1 UDP 协议特点 UDP 是一个面向无连接的，尽最大努力交付的 (Best-Effort)，面向报文的传输层通信协议。UDP 协议在发送数据前不需要建立连接，减少了开销和延迟，可以实现数据的快速传输。尽最大努力交付不能保证数据的可靠性，因此主机不需要维持复杂的连接状态表。UDP 协议支持一对一、一对多、多对一和多对多的交互通信。在传输过程中 UDP 不做任何事情，不包含流量控制、失败重传、拥堵控制等机制，一切保障可靠性的操作都需要依靠用户进程来完成，UDP 只是提供一个与 IP 协议的接口，并且拓展了端口复用的功能。

2.3.2 UDP 报文 UDP 是面向报文的通信协议，对于发送方应用层传送下来的数据，UDP 不会拆分或合并，一段数据对应一个报文，在添加首部后直接下送给网络层，加上 IP 首部后，再传送到数据链路层，加上帧首部完成封装后，离开主机通过物理链路发送到网络上的下个设备。UDP 报文包含数据首部和数据字段两个部分，如右图 5 所示。



图 5 UDP 报文结构

Fig.5 Message structure of UDP

UDP 的首部与 TCP 报文部分相同，源端口和目的端口分别包含了应用程序的发送端和接收端的端口号，不同的是 UDP 的源端口号是在需要回复时选用，不需要时置 0。校验和用于检测 UDP 数据报文在传输过程中是否出错，有错则丢弃报文。在校验过程中会使用到 UDP 数据报文首部之前增加的伪首部，它仅用于计算校验和，不会向下或向上传递。

2.4 TCP 和 UDP 的比较 TCP 是面向连接的，适合大量数据传输；UDP 更适合简短消息或广播通信。UDP 的数据报文格式简单，不包含确认号等信息，因此 UDP 不保证数据的顺序或完整性，使得 UDP 协议在使用过程中网络开销减少，减少网络拥塞的发生。UDP 在通信过程中不需要建立连接，不需要“握手”操作，不确认数据包，也不进行数据重传。这使得在需要低延迟的实时应用中，UDP 在通信效率上优于 TCP。TCP 适用于需要高可靠性数据传输的应用，如 Web 页面加载、文件传输 (FTP) 和电子邮件 (SMTP) 等。UDP 则适用于对传输速度要求高、可以容忍一定数据丢失的应用，例如实时视频会议和实时监控系统等。这类应用需要保证数据的时效性，小部分数据丢失不影响应用的实现。

2.5 提高 UDP 网络协议模型的安全性措施 UDP 网络传输协议模型由于不需要建立网络连接，而直接传输，其显著优势是实时性好，最大的不足是可靠性不高，容易产生数据包丢失等问题。针对 UDP 网络传输协议模型的不足之处，可以在应用层采取措施加以弥补，采取诸如重传机制、检验机制、数据包总包数检验机制、数据包包序号检测机制等措施。在实际应用中也可采用传输层以外的地方应用心跳包等相关技术来改善可靠性传输问题，可以采取滑动窗口、数据确认等网络特有的机制，提高数据传输的可靠性。为了提高 UDP 可靠性，已经研究出高效性的 RUDP (Reliable UDP) 协议^[9]等技术。通过上述措施既可以充分利用 UDP 网络的高效性，也解决了它的不可靠性。

3 IP 组播技术方案

3.1 组播的产生 组播技术的提出是为了解决网络中点对多点数据传输的效率问题，它通过最大化地利用现有网络带宽和降低服务器负载，显著提升了网络通信效率^[10-11]。组播技术的主要特点包括节省带宽、动态性、扩展性和健壮性，能够有效地在网络传输实现点到多点的传输，节约网络带宽，降低网络负载。组播地址机制通过映射 IP 组播地址到 MAC 地址，实现了组播数据的有效传输。

IP 网络信息传输方式有三种：单播、广播和组播^[12]，三种传播方式如图 6 所示。

单播 (Unicast) 传输：是点对点的通信方式。发送端和每一个需要数据包的接收端都需要建立独立

的连接，以进行数据传输。当发送端需要将数据发送到多个节点时，必须多次拷贝数据，再发送给每一个节点。这样会消耗更多的网络带宽和资源，增加发送端的负担，延时增长。

广播(Broadcast)传输：是指在子网内广播数据包。发送端向子网主机发送一份数据包，在同一子网内的所有节点都会收到发送端发出的数据包，而不考虑这些主机是否需要该数据包。广播数据会被路由器隔离，只在本地子网内有效，使用范围受限。广播传输会增加非接收者的开销，占用网络带宽，容易造成网络拥塞。

组播(Multicast)传输：发送端将一个信息包发送到特定的组播组，属于该组播组的所有节点会共享同一信息包。组播传输有效地解决了单点发送多点接收，多点发送多点接收的问题，能够节约网络带宽，提高传输效率，大幅减少网络中非信息流量，大量减少子网服务器数据处理单元的运载负荷，减少网络拥塞。同时，组播组中的节点可以是在同一个网络，也可以来自不同的网络。

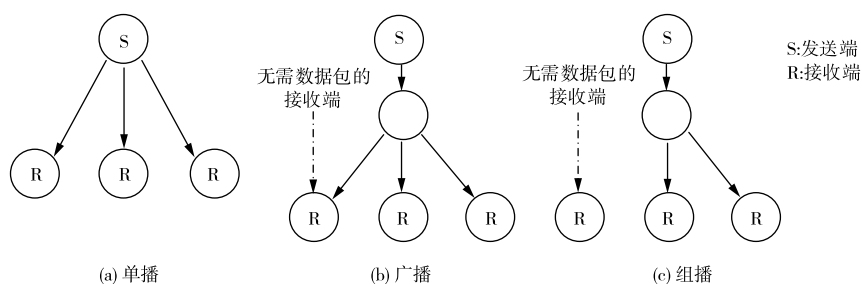


图 6 传播方式示意图

Fig.6 Schematic diagram of propagation mode

3.2 IP 组播与 UDP 结合的通信模型 组播技术在理论上可应用于多种网络协议和技术，在数据链路层或应用层都能实现组播通信，但在实践中 IP 组播技术最为常见。组播地址用于标识一个组播组。IP 协议把 D 类地址空间分配给组播使用，范围从 224.0.0.0 到 239.255.255.255，地址选择需要保证在全局范围内唯一，避免数据传输的混淆。组播地址的映射机制是将组播地址中的低 23 位放入 MAC 地址的低 23 位，从而实现 IP 组播地址到 MAC 地址的映射。一个主机可以加入多个组播组，主要通过 Internet 组管理协议 IGMP (Internet Group Management Protocol) 实现组成员的管理。主机在加入一个组播组时向组播路由发送一个 IGMP 报文，路由器也会定期向主机发送 IGMP 查询报文。一个组播组在理论上可以接入无限多个主机，但工程实践应用中需要考虑实际网络带宽和资源限制。

UDP 由于其轻量级和无连接的特性，非常适合组播通信。它支持快速、高效地将数据发送给多个接收者。TCP 虽然提供了高可靠性的保证，但由于其面向连接的特性，对每个连接都要保证包括数据重传、顺序保证和错误检测等，这大大增加了协议的复杂性，在组播成员动态变化的情况下更难以实现这些特性，因此 TCP 不适合直接用于组播通信。在需要组播但同时又要求可靠性的场景中，采用 UDP 协议是合适的。对于提高 UDP 的可靠性问题，可在应用层采取适当措施，如重传请求或者数据完整性校验予以实现。现在自动控制应用领域，采用以太网通信的设备越来越多，普遍采用 TCP/IP 以太网广播信息的模型通信，控制网内网络数据包几何级增长，不管是否需要，数据包都要发给网络内每一个节点，造成数据通信拥塞通信效率降低、实时性降低，不能满足控制系统高实时性的控制要求。基于组播技术的 UDP 通信模型，可以动态将不同通信对象组为一个组，采用一定安全机制。在这个通信组内，可以充分利用 UDP 的快速特性，也弥补了其不足，是一种具有广泛应用前景的自动控制以太网通信模型解决方案。

4 组播与 UDP 相结合模型应用案例

4.1 抽蓄电站工程案例分析 宝泉、惠州(A 站、B 站)及白莲河等四个抽蓄电站是我国首批从国外打捆招标抽蓄电站计算机监控系统，引进国外先进抽水蓄能控制技术。本文作者在进行宝泉抽蓄电站监

控系统改造方案研究过程中^[13-15]，通过现场调研和收集资料分析发现，宝泉抽蓄电站监控系统的网络通信模型是采用 IP 单播、IP 组播与 UDP 相结合的模式。宝泉抽蓄电站监控系统主干网采用不开放的 CON-TRONET S8000 双环网，连接厂站层设备和各现地控制单元 LCU(Local Control Unit)控制器。LCU 采用的是 MFC3000 单元控制器通过 WorldFip 现场总线接入分布式可编程逻辑控制器 PLC(Programmable Logic Controller)的结构。MFC3000 除完成与厂站层的通信外，还承担了 LCU 主要的控制流程和数据处理功能。

现场采集电站监控网络数据报文，根据现场试验记录和监控系统的显示记录信息进行分类定位，对照进行数据包分析。监控系统的显示记录信息实例如图 7 所示，报文分析界面如图 8 所示。报文分析软件界面上清楚表明数据包类型均为 UDP，所采用的地址 225.0.9.1、225.0.9.3 及 225.0.9.101 均为 IP 组播 D 类地址。

22/11/2017 16:35:10 396	O1GTA_001MW_DE_1ST	ACT.POWER REACHED 1ST STAGE	YES	-> NO
22/11/2017 16:35:10 396	O1GTA_001MW_DE_2ND	ACT.POWER REACHED 2ND STAGE	YES	-> NO
22/11/2017 16:35:16 015	O1GAL_001VB_BRO1	RUN OUT 1ST STAGE	ALARM	-> NORMAL
22/11/2017 16:35:35 360	O1GTU_462SN_DI_H	TUR HEAD COVER WTR 1st STAGE	N-HIGH	-> HIGH
22/11/2017 16:35:35 673	O1GTU_462PO_AM	462PO Animation word	oFF	[1] -> in prog [3]
22/11/2017 16:35:35 960	O1GTU_462PO_DI_OF	TUR HEAD COVER PUMP 2 (462PO)	OFF	-> N-OFF

图 7 监控系统的显示记录信息

Fig.7 Display record information of supervision and control system

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
3444	28.914	195.0.0.8	225.0.9.101	UDP	502	1041 -> 2001 Len=460
3445	28.918	195.0.0.1	225.0.9.1	UDP	130	1173 -> 2001 Len=88
3446	28.931	195.0.0.3	225.0.9.3	UDP	426	1041 -> 2001 Len=384

> Frame 3445: 130 bytes on wire (1040 bits), 130 bytes captured (1040 bits)
 > Ethernet II, Src: AdlinkTe_07:ff:2a (00:30:64:07:ff:2a), Dst: IPv4mcast_09:01 (01:00:5e:00:09:01)
 > Internet Protocol Version 4, Src: 195.0.0.1, Dst: 225.0.9.1

0000	01 00 5e 00 09 01 00 30	64 07 ff 2a 08 00 45 00	..^...0 d...*.E.
0010	00 74 3a 82 00 00 01 11	d1 f4 c3 00 00 01 e1 00	t:.....
0020	09 01 04 95 07 d1 00 60	36 7b 02 80 06 00 01 00^ 6{.....
0030	01 00 0c 60 43 74 72 6c	53 74 61 74 69 6f 6e 47	...^Ctrl StationG
0040	72 70 00 00 00 00 4b 43	5a 30 30 31 00 00 00 00	rp....KC Z001....

图 8 报文分析软件界面信息

Fig.8 interface information of message analysis software

通过对各类数据报文的全面测试与分析，确定 MFC3000 单元控制器是采用组播方式在 S8000 双网同时上送数据，上送数据分周期全送报文和变化传送报文，其中模拟量采用周期全送报文传送方式，周期为 1 s；开关量(包括事件顺序记录(SOE)、开关量输入(DI)、开关量输出(DO)、内部变量)均采用周期全送报文和数据逢变上报方式，在重启时会产生全送报文，开关量变位采用随机传送。控制命令是采用网络单播方式下发至 MFC3000 单元控制器；设备心跳报文采用网络广播方式发送。

4.2 应用性能分析与后续水电厂监控系统改造方案技术可行性 作者在宝泉抽蓄电站监控系统升级改造方案项目研究过程中，发现原监控系统采用 IP 组播结合 UDP 模型为主的网络方案，结合 IP 单播和心跳等安全性技术进行通信，多年实际运行结果表明其监控系统长期运行可靠性好、实时性好。

根据 IP 组播技术数据交互的特性，确定了该电站监控系统改造方案技术路线：数据采集的上行方向，LCU 单元控制器采用组播方式主动上送数据，新监控系统无需发送任何采集召唤报文，只需加入到组网地址中，连接到 S8000 网络交换机，即可接收获得全厂实时数据。在命令下发的下行方向，新监控系统的 LCU 的可采用 UDP 实现网络单播方式，将控制命令直接下发至 LCU 实现控制目标。

利用组播技术，新的监控系统可以无缝与原监控系统进行双向数据交换，在不改变原有监控系统网络结构、通信链路和系统配置的情况下，实现与原监控系统的无缝无扰连接。

5 结论

本文在研究以太网相关通信技术及组播技术的基础上，提出了新型以太网通信模型。目前基于

TCP 网络协议、采用单播及广播方式,在水电厂计算机监控系统及其他自动化控制系统中得到普遍应用。随着计算机技术快速发展,越来越多具有以太网接口的控制系统及设备接入控制网络中。基于 TCP 网络广播方式进行通信,需要预先建立网络连接,控制系统的网络连接数量作为一种资源,是受限制的。建立网络连接和断开网络连接都需要通过多次网络连接,发生一次失败,网络建立或网络断开都将不成功,影响控制系统的可靠性和实时性。本文研究分析 UDP 网络通信特点,因其数据传输过程中,不建连,不握手,数据通信速度快,数据传输效率高,减少通信延迟,缺点是数据包通信成功不可预知性。IP 组播技术可实现一对多的通信,减少了网络带宽的占用,灵活的组播管理方式增强了监控系统数据传输的灵活性。本文的主要结论:

(1)本文提出的基于 UDP 网络协议模型与 IP 组播相结合新型通信模型,可充分利用 UDP 网络协议模型和组播方式的各自优点,可满足目前水电厂计算机监控系统高可靠性、高实时性以太网网络通信需求。

(2)水电厂计算机监控系统可采用基于 UDP 网络协议模型 IP 组播通信模型与 TCP 网络协议广播通信模型相结合的方式,也可以在两种方式中进行切换。

(3)采用基于 UDP 网络协议模型 IP 组播通信模型,在宝泉抽水蓄能电站原监控系统中得到成功应用,为我国常规水电厂及抽水蓄能电站计算机监控系统的网络通信模型优化打下了坚实基础,提供了新的选择。

参 考 文 献:

- [1] 叶保留, 顾铁成, 陆桑璐, 等. 组播技术综述[J]. 小型微型计算机系统, 2004, 25(8): 1409-1414. (YE Baoliu, GU Tiecheng, LU Sanglu, et al. Overview of multicast technology[J]. Small Micro Computer Systems, 2004, 25(8): 1409-1414. (in Chinese))
- [2] 唐杰阳, 唐凡, 杨东, 等. 水电站计算机监控系统综合智能告警研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报(中英文), 2022, 20(4): 377-385. (TANG Jieyang, TANG Fan, YANG Dong, et al. Research on comprehensive intelligent alarm of computer monitoring system for hydropower stations[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2022, 20(4): 377-385. (in Chinese))
- [3] 王德宽, 孙增义, 王桂平, 等. 水电厂自动化技术 30 年回顾与展望[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2008, 6(4): 308-316. (WANG Dekuan, SUN Zengyi, WANG Guiping, et al. 30 year review and prospect of automation technology in hydropower plants[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2008, 6(4): 308-316. (in Chinese))
- [4] 张毅, 龚传利. 自动化学科发展前沿研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2009, 7(2): 147-151. (ZHANG Yi, GONG Chuanli. Frontier research on the development of automation discipline[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2009, 7(2): 147-151. (in Chinese))
- [5] 谢希仁. 计算机网络教程[M]. 7 版. 北京: 电子工业出版社, 2017. (XIE Xiren. Computer Network Tutorial [M]. 7th ed. Beijing: Electronic Industry Press, 2017. (in Chinese))
- [6] 特南鲍姆, 韦瑟罗尔, 严伟, 等. 计算机网络[M]. 5 版. 北京: 清华大学出版社, 2012. (TANENBAUM A S, WETHERALL D J, YAN Wei, et al. Computer Networks[M]. 5th ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2012. (in Chinese))
- [7] KAMAL J, HASAN M, GRIFFITHS A, et al. Development and verification of simulation model based on real MANET experiments for transport layer protocols (UDP and TCP)[J]. International Journal of Automation & Computing, 2013(1): 53-63.
- [8] COMER D, STEVENS D L. Internetworking with TCP/IP[M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2002.
- [9] 赵飞, 叶震. UDP 协议与 TCP 协议的对比分析与可靠性改进[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(9): 225-227. (ZHAO Fei, YE Zhen. Comparative analysis and reliability improvement of UDP protocol and TCP protocol [J]. Computer Technology and Development, 2006, 16(9): 225-227. (in Chinese))

- [10] DEERING S. Multicast routing in internetworks and extended LANs[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 1988, 18(4): 55-64.
- [11] 吴茜, 吴建平, 徐恪, 等. 移动 Internet 中的 IP 组播研究综述[J]. 软件学报, 2003, 14(7): 1324-1337. (WU Qian, WU Jianping, XU Ke, et al. A review of research on IP multicast in mobile Internet[J]. Journal of Software, 2003, 14(7): 1324-1337. (in Chinese))
- [12] 陈孝莲. 基于 IP 组播的数字视频传输系统的研究[D]. 南京: 河海大学, 2003. (CHEN Xiaolian. Research on Digital Video Transmission System Based on IP Multicast[D]. Nanjing: Hohai University, 2003. (in Chinese))
- [13] 夏伟, 潘罗平, 周叶, 等. 水电站状态监测系统与监测子系统接口技术分析[C]//北京中水科水电科技开发有限公司青年学术交流会. 2012. (XIA Wei, PAN Luoping, ZHOU Ye, et al. Analysis of Interface Technology between Hydroelectric Station Status Supervision and Control System and Supervision and Control Subsystem [C]//Youth Academic Exchange Conference of Beijing Zhongshui Science and Technology Development Co., Ltd. 2012. (in Chinese))
- [14] 刘鹏龙, 吴小锋, 方书博, 等. 宝泉抽水蓄能电站计算机监控系统国产化改造方法研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2021, 19(6): 590-597. (LIU Penglong, WU Xiaofeng, FANG Shubo, et al. Research on the domestic transformation method of computer monitoring system for Baoquan pumped storage power station[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2021, 19(6): 590-597. (in Chinese))
- [15] 吴小锋, 李刚, 马圣恒, 等. 抽水蓄能电站监控系统国产化改造方案研究[J]. 中国农村水利水电, 2022(6): 202-206. (WU Xiaofeng, LI Gang, MA Shengheng, et al. Research on localization transformation scheme of monitoring system for pumped storage power stations[J]. China Rural Water Resources and Hydropower, 2022(6): 202-206. (in Chinese))

Research on the application of UDP protocol and IP multicast communication model in hydropower plant supervision and control systems

WU Xiaofeng¹, LIU Xiaobo², ZHAO Yifei², ZHANG Yi², CHANG Dongliang¹, LI Kunpeng¹

(1. State Grid Henan Baoquan Pumped Storage Co., Ltd., Xinxiang 453000, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: To improve the performance of the supervision and control system for hydropower plants, this paper developed successfully an innovative communication model. Based on the Open Systems Interconnection (OSI) reference model for Ethernet, the paper analyzed the advantage and the limitation of unicast and broadcast Ethernet communication methods currently used in hydropower plant supervision and control systems, investigated the Transmission Control Protocol (TCP) model including packet transmission, handshake connection, and disconnection processes, explained the characteristics of the User Datagram Protocol (UDP) model, and proposed measures to enhance its security. Furthermore, by a systematic comparison and analysis of unicast, multicast, and broadcast network information transmission models, the paper delved into the characteristics of the Ethernet network communication model that integrates the unicast, multicast, and broadcast network information transmission models with TCP and UDP. Based on the investigation of the reliability and real-time performance of TCP in broadcasting, a novel network communication model that combines UDP and IP multicast for the hydropower plant computer supervision and control system has been proposed. This model can significantly enhance the real-time performance and reliability of the communication of supervision and control systems and, through the verification and analysis of practical engineering applications, offer a new option for communication model of computer supervision and control system for hydropower plant. The new model demonstrates substantial application potential and value for widespread adoption.

Keywords: communication protocol; TCP; UDP; broadcasting; multicast; unicast; supervision and control system

(责任编辑: 祁 伟)