

基于网络的中性束注入控制系统管理软件^①

虞 珊^{1,2}, 胡纯栋², 盛 鹏², 赵远哲^{1,2}, 张小丹^{1,2}

¹(中国科学院大学, 北京 100049)

²(中国科学院合肥物质科学研究院 等离子体物理研究所, 合肥 230031)

摘 要: 中性束注入加热(NBI)是核聚变实验装置最重要的辅助加热方法之一, 针对现有的管理软件无法实现对 NBI 系统的全局管理和实时监控的问题, 为适应 NBI 系统本身的复杂性以及其高电压、高辐射的复杂的工作条件, 提出了一套 NBI 系统管理的新方法. 本文介绍了基于网络的 NBI 控制系统管理软件的设计与实现过程. NBI 控制系统管理软件主要基于客户机/服务器结构、多线程技术、socket 通信技术、心跳波机制开发, 它提供给用户一套标准的接口和统一的管理终端用以实时监控和远程管理运行在不同平台下、不同类型的硬件设备和软件系统. 该系统的实现可以增强 NBI 各子系统运行的稳定性, 为中性束注入装置的可稳态运行提供保障.

关键词: 管理软件; 实时监控; 中性束注入; 多线程; 客户机/服务器

Management Software Based on Network in EAST Neutral Beam Injector Control System

YU Shan^{1,2}, HU Chun-Dong², SHENG Peng², ZHAO Yuan-Zhe^{1,2}, ZHANG Xiao-Dan^{1,2}

¹(University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

²(Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences (ASIPP), Hefei 230031, China)

Abstract: Neutral beam injection (NBI) is recognized as one of the most effective means of plasma heating. In order to meet the demand of NBI system itself and the complexity of the working environment, a set of new methods for NBI system management are proposed. In this paper, the architecture and implementation of NBI management software are presented. NBI management software is developed based on the Client/Server (C/S) model, multithreading, socket communication technologies and heartbeat wave mechanism. It provides universal service interfaces and a uniform management terminal for different types of software and hardware. The implement of NBI management software enhances the stability of NBI system and provides safeguards for its steady-state operation.

Key words: management software; remote monitoring; NBI; multithreading; Client/Server;

1 系统概述

Experimental Advanced Superconducting Tokamak(EAST)装置是由中科院等离子体物理研究所自行设计研制的国际首个全超导托卡马克装置. 中性束注入加热作为托卡马克上对等离子体外部加热和维持的主要手段之一, 是 EAST 实现高参数运行必须具备的加热手段^[1,2]. EAST-NBI 系统主要由束线、电源系统、低温真空系统、控制系统和诊断系统等子系统共同组成^[1-3]. 在各子系统中分散运行着大量的软件系统

和硬件设备, 所以, 鉴于系统本身的复杂性, 要保障 NBI 系统稳态运行, 必须建立一套系统实现对 NBI 系统的全局管理(实时监控, 集散管理). 另外, 由于 NBI 系统运行在高电压、电磁辐射、射线辐射等复杂的环境条件下, 因此, 需要通过该系统的实现, 对 NBI 系统的各子系统进行远程监控.

目前 NBI 系统中已投入运行的管理软件功能有限, 管理对象也有限, 无法实现对整个系统的全局管理和实时监控^[6]. 因此, 要满足 NBI 系统高参数稳态运行

^① 基金项目:国家磁约束核聚变能发展专项(2103GB101001)

通讯作者:盛鹏 Email:shengpeng@ipp.ac.cn

收稿时间:2015-05-27;收到修改稿时间:2015-06-23

的要求, 必须提出一套 NBI 系统管理的新方法以实现
对 NBI 系统更好的管理.

本文根据当前 NBI 系统运行的实际情况以及要管理
的软硬件设备的特点, 设计了一套基于网络的 NBI
控制系统管理软件. 该管理软件基于客户机/服务器结
构, 使用 socket 通信技术以及心跳波机制, 提供给用
户一套标准的服务接口和统一的用户界面去监控和管
理复杂的 NBI 各子系统, 实现对 NBI 系统更有效可靠
的管理.

本系统的设计目标如下:

① 远程实时监控功能: 远程实时监控与采集系
统内需要监控的软/硬件系统的状态, 并将远程采集到
的状态信息存入数据库中, 以备管理客户端访问与查
询. 如果管理的软/硬件状态异常, 系统将向用户发出
报警信号.

② 设备、用户管理: 根据自身需求以及设备实时

状态, 用户操作图形化界面对设备执行相关的管理操
作, 并将操作结果实时显示. 将设备和用户抽象为管
理对象类, 实例化并可执行注册、注销等操作.

③ 数据库管理: 在服务器端架设一个后台数据
库, 用以存储用户和设备信息, 以及系统运行状态信
息、操作信息等, 从而保证信息的实时查询以及实时
更新.

④ 日志功能: 设置系统日志用来记录系统信息
和监视在系统中发生的事件, 从而方便用户在系统运
行故障的时候追溯故障来源.

⑤ 方便、易用的图形化用户界面.

⑥ 权限管理.

2 整体设计

本管理软件总体分成三部分: 管理终端、服务器
端后台程序、服务程序. 其总体结构图如图 1 所示.

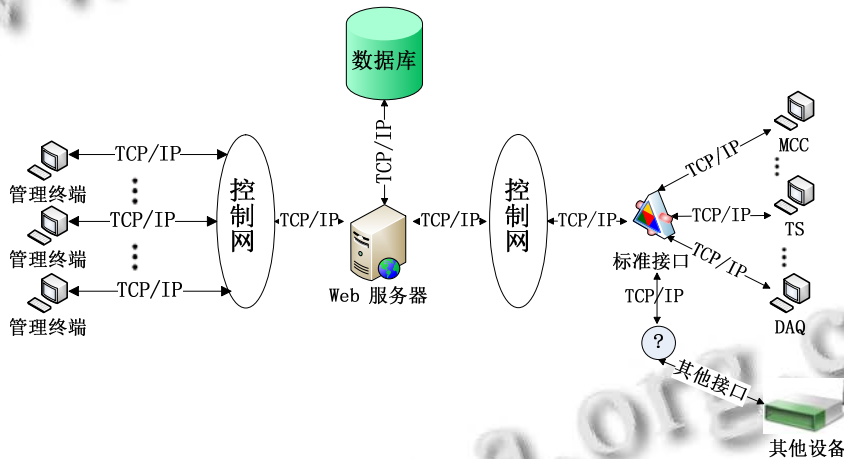


图 1 中性束注入控制系统管理软件总体结构图

管理终端: 提供给用户一套友好的图形化管理界
面, 使用图形化界面语言 Microsoft Foundation
Classes(MFC)开发.

服务器端后台程序: 部署在 Web 服务器上, 后台
数据库使用的是 MySQL 数据库, 使用的开发语言是
C/C++语言.

服务程序: 以服务或守护进程的形式部署在后台,
脱离于终端并且在后台运行. 周期性的监测 NBI 系统
中软硬件设备的状态并实时响应来自管理终端的用户
命令.

NBI 控制系统管理软件的功能模块主要分为显示
模块、消息输入模块、通信模块、命令处理模块以及

存储模块, 其功能模块框图如图 2 所示.

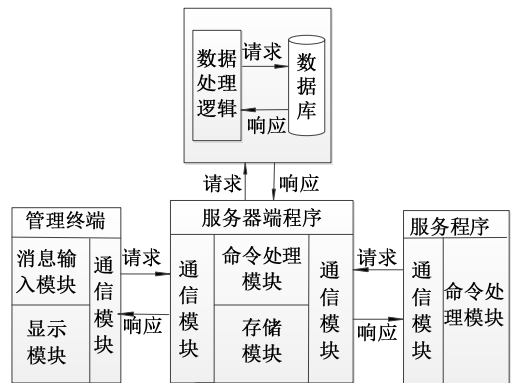


图 2 中性束注入控制系统管理软件功能模块图

当 NBI 管理软件开始在 NBI 系统中运行, NBI 系统中被监控的软/硬件对象的状态信息将会定时发送至管理终端并显示, 管理终端的显示模块和服务端端的存储模块将会实时更新. 根据当前 NBI 系统的实时状态和实际需求, 用户操作管理终端调用消息输入模块发出用户指令, 指令通过网络传输, 经服务器转发至目标对象, 目标对象调用相关命令处理模块对收到的指令进行处理, 处理结果返回并显示在管理终端上, 如果 NBI 系统运行异常, 管理软件将会发出报警信号. 通信模块负责各种消息、用户指令、命令处理结果的传输. 下文将介绍 NBI 控制系统管理软件的主要功能及相关模块的设计与实现方法.

3 NBI控制系统管理软件的设计与实现

3.1 通信模块的设计与实现

NBI 控制系统主要基于 TCP/IP 协议, 使用相关网络通信技术来传输控制命令和采集实验数据. NBI 控制系统使用统一的数据结构进行通信. 作为 NBI 控制系统的一部分, NBI 控制系统管理软件所采用的网络通信数据结构必须与其保持一致. 图 3 是 NBI 控制系统 TCP 网络通信数据结构示意图, 主要由三部分组成^[4,5]. 第一部分是 NBI TCP 网络通信头部信息部分, 这部分占用 60 个字节数, 包括 7 个数据成员, 这些数据成员是确保了 NBI 控制系统的设备之间进行可靠、有效网络通信所必需的信息. 其中, 用户名和密码事先由通信双方约定好, 主要用于数据接收方进行安全可靠通信的认证, 防止恶意的网络攻击. 第二部分是用户自定义数据, 第三部分使用自定义的算法进行循环冗余校验, 验证用户数据的合法性, 并检测由于网络故障而导致的数据传输错误. 表 1 是 NBI TCP 网络通信头部信息部分的数据成员列表:

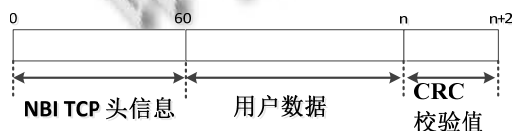


图 3 TCP 网络通信数据结构示意图

表 1 TCP 网络通信头部数据成员列表

序号	成员名称	类型	说明	字节数
1	iSrcID	int	源节点号	4
2	iDstID	int	目的节点号	4

3	iSvcNo	int	服务类型	4
4	iCmd	int	命令类型	4
5	iDataSize	int	数据包大小	4
6	szName	char[20]	用户名	20
7	szPwd	char[20]	密码	20

3.2 存储模块的设计与实现

存储模块主要通过调用存储过程对部署在数据库中的表进行操作, 将设备和用户抽象为管理对象类实例化, 从而实现软硬件以及用户对象的查询、注册、注销等操作, 并实时更新和提取软件和硬件对象的状态信息. 存储过程(Stored Procedure)是在大型数据库系统中, 一组为了完成特定功能的 SQL 语句集, 存储在数据库中经过第一次编译后再次调用不需要再次编译, 用户通过指定存储过程的名字并给出参数(如果该存储过程带有参数)来执行它. NBI 控制系统管理软件采用的后台数据库是 MySQL 数据库, 表 2 是后台数据库中的表单列表,

表 2 后台数据库表单列表

序号	表名	说明
1	SoftwareMsg	记录要监控的软件对象的相关信息
2	HardwareMsg	记录要监控的硬件对象的相关信息
3	SoftwareStatus	记录要监控的软件对象的状态信息
4	HardwareStatus	记录要监控的硬件对象的状态信息
5	UserMsg	记录用户的相关信息

其中, SoftwareMsg 表和 HardwareMsg 表分别记录了软件对象和硬件对象的相关信息, 其结构设计如表 3 所示.

表 3 SoftwareMsg 表和 HardwareMsg 表

序号	字段名	类型	字段说明
1	SoftwareName	varchar(256)	软/硬件名
2	Type	varchar(128)	软/硬件类别
3	LoginMan	varchar(256)	注册人
4	LoginTim	varchar(256)	注册时间
5	MarkIP	varchar(256)	所在主机 IP 地址
6	LoginSystem	varchar(256)	所属 NBI 子系统

表 4 是存储过程列表.

表 4 存储过程列表

序号	存储过程名	说明
1	SoftwareLogin	执行软件对象的注册

2	HardwareLogin	执行硬件对象的注册
3	SoftwareDelete	执行软件对象的注销
4	HardwareDelete	执行硬件对象的注销
5	UpdateSoftwareStatus	软件对象状态信息的更新
6	UpdateHardwareStatus	硬件对象状态信息的更新
7	ReferSoftwareMsg	查询软件对象的相关信息
8	ReferHardwareMsg	查询硬件对象的相关信息
9	UserLogin	执行用户对象的注册
10	UserDelete	执行用户对象的注销
11	ReferUserMsg	查询用户对象的相关信息

3.3 命令处理模块的设计与实现

当服务器端后台程序接收到来自用户的指令,在判断用户指令合法且指令目标对象在线之后,将用户指令转发至服务程序,服务程序调用命令处理模块对收到的指令进行处理,并将处理结果返回给用户。

为提高 NBI 管理软件性能,采用多线程技术处理多命令并发请求和响应的问题,提高了系统的并发处理能力。服务程序中主要的命令处理线程如下所示:

① void *RecvServerComandThread(void *args):与服务端通信,接收由服务器端后台程序转发的用户指令,对用户指令进行响应并处理,返回处理结果;

② void *SendStatusToServerThread(void *args):定时将监控的软硬件对象的状态信息返回到服务器端;

③ void *UpdateStatusThread(void *args):定时从数据库中获取当前所要监控的软/硬件对象名,并更新其当前的实时状态;

④ void *ComWithXXXThread(void *args):与管理对象通信,解析收到的用户指令,获取该指令的目标对象,将用户指令转发至该目标对象,并接收目标对象回发的用户指令的处理结果,其中,“XXX”指代不同的管理对象,NBI 系统中需要被管理的软/硬件对象都有一个独立的 CommuWithXXXThread 线程与服务程序通信;

3.4 实时监控功能的设计与实现

实时监控功能和远程管理功能是 NBI 控制系统管理软件的两个主要功能,下文将首先介绍实时监控功能的设计与实现方法。

根据需求,将软/硬件监控对象的实时状态划分为四种,即在线状态,离线状态,假死状态,未受监控状态。其中,未受监控状态指的是监控对象所在主机上

的后台监控服务程序未开启,系统无法获知当前监控对象的实时状态。

心跳波机制是实现实时监控功能所使用的主要的机制。它实质上相当于一个周期性的握手应答机制,主要用于确定监控对象的实时状态。首先,NBI 管理软件需要和监控对象之间建立 Socket 连接,然后,每隔一定的时间间隔,NBI 管理软件向监控对象发出状态查询的数据包,如果对方在线,就会立即向 NBI 管理软件回发一个状态确认的数据包,NBI 管理软件成功收到数据包之后,就可确定此时监控对象在线,否则,即可确定此时监控对象不在线。以主控制服务器软件(MCS)为例,图4是心跳波机制的流程图。

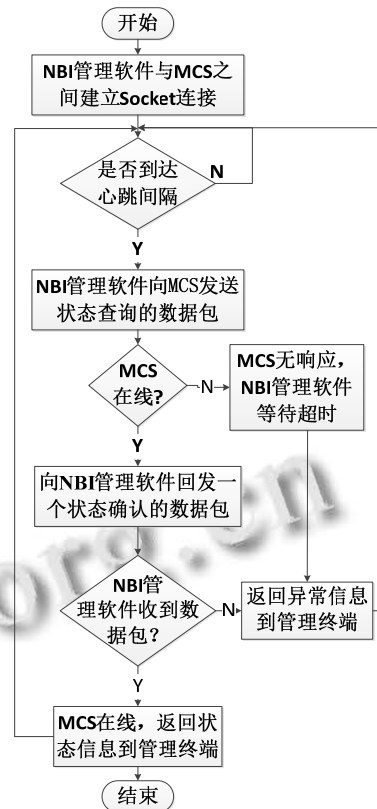


图4 心跳波机制流程图

当被监控的软/硬件处于离线状态和假死状态,它们对于 NBI 管理软件发送的状态请求无法响应,因此,仅仅使用心跳波机制,无法对这两种状态进行区分。要区分这两种状态,可以通过调用系统 API 函数,获取操作系统当前的进程列表,然后通过对获取的进程列表进行操作,查询监控对象的进程名是否出现在操作系统当前的进程列表中,若未出现,说明该监控对象当前是离线状态,反之,则为假死状态。表5是 NBI

控制系统管理软件中, 监控对象的实时状态与监控策略的对应表。

表5 实时状态与监控策略对应表

序号	状态	监测策略
1	在线状态	NBI 管理软件使用心跳波机制, 向监控对象发出状态查询请求, 并获得正常响应
2	离线状态	使用心跳波机制, 向监控对象发出状态查询请求, 若未获得响应或是响应异常, 查询操作系统当前的进程列表, 未发现监控对象的进程名
3	假死状态	使用心跳波机制, 向监控对象发出状态查询请求, 若未获得响应或是响应异常, 查询操作系统当前的进程列表, 发现监控对象的进程名
4	未监控态	NBI 管理软件与监控对象建立 Socket 连接失败

3.5 远程管理功能的设计与实现

远程管理功能主要是基于 TCP/IP 协议, 使用相关网络通信技术实现的。

针对要管理的软/硬件对象的具体情况的不同, 对其进行分类管理。根据需求, 现分为三个类别, 具体如下:

(1) NBI 控制系统软/硬件: 由于 NBI 控制系统内部的软硬件都是自主研发, 可维护性高, 可以方便的进行二次开发, 所以, 对此类管理对象可以实现全部的管理操作;

(2) 其他子系统自主开发的软/硬件: 由于对此类软/硬件的结构并不熟悉, 并且存在很多操作上的隐性问题, 因此, 对此类对象只能根据实际情况实现部分的管理操作;

(3) 外包软件: 对于外包软件, 厂商一般会隐藏实现细节, 只向用户提供使用接口, 因此, 二次开发的难度很大。对此类管理对象基本无法实现管理操作。

为用户向用户提供一套标准、统一的接口用以管理不同类型的软件系统和硬件设备, 该管理软件采用面向对象的程序设计思想, 将实现与接口分离, 向用户隐藏具体的实现细节, 方便用户使用和移植。

以主控制服务器软件(MCS)为例, 图5是远程管理功能的流程图。用户根据实际情况和需要, 操作管理终端, 向指定的管理对象发出用户指令, 用户指令经由网络被转发到服务器端后台程序, 如果确认用户指令合法, 后台程序调用相关存储过程查询管理对象

的实时状态, 若管理对象当前在线, 用户指令会被转发至管理对象, 接收到用户指令之后, 管理对象调用相关命令处理模块对指令进行相应, 命令处理结果将会通过网络转发至管理终端并显示。若用户指令处理异常, 用户将会收到相关报警信息。

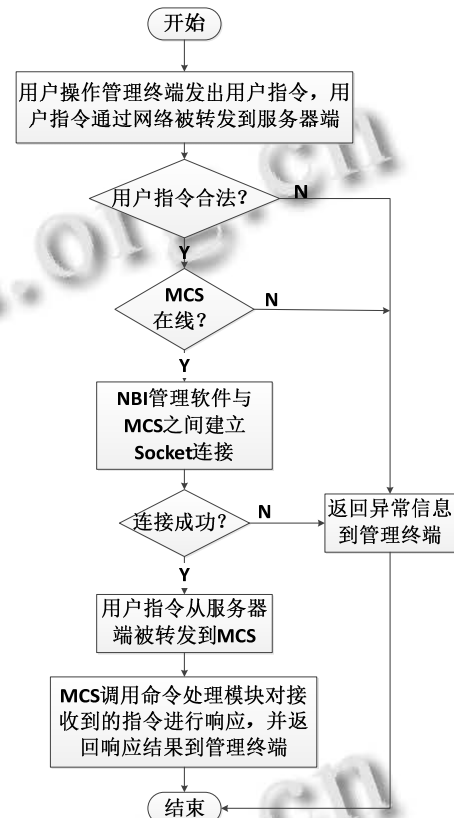


图5 远程管理功能流程图

4 结束语

本文介绍了基于网络的中性束注入控制系统管理软件设计与实现过程, 该系统主要有实时监控和远程管理功能, 并具有执行效率高、交互性好、易于跨平台移植和扩展性强等特点。使用此管理软件可以有效地解决现有管理软件无法实现对 NBI 系统的全局管理和实时监控的问题, 增强了 NBI 系统运行的稳定性, 为对 NBI 系统更好的管理提供了一套有效的方法。

参考文献

- 1 Hu CD, Xie YH. NBI team. The development of a megawatt-level high current ion source. Plasma Science and Technology, 2012, 14(1): 75-77.

- 2 Hu CD, NBI team. Conceptual design of neutral beam injection system for EAST. *Plasma Science and Technology*, 2012, 14(6): 320–324.
- 3 Sheng P, Hu CD, Song SH, Liu ZM, Zhao YZ, Zhang XD, Dou SB. Data processing middleware in a high-powered neutral beam injection control system. *Plasma Science and Technology*, 2013, 15(6): 593–598.
- 4 Zhao YZ, Hu CD, Sheng P, Zhang XD. Study of mechanics control server application software on EAST-NBI. The 2nd International Conference on Computer-Aided Design, Manufacturing, Modeling and Simulation (CDMMS2012). Chongqing. 2012. 21–23.
- 5 Zhang XD, Liu ZM, Sheng P. Research of data server application software for NBI mechanical control on EAST. The 2nd International Conference on Computer-Aided Design, Manufacturing, Modeling and Simulation (CDMMS2012). Chongqing. 2012. 23–25.
- 6 Cui QL, Hu CD, Sheng P, Zhang XD, Zhao YZ, Wu DY, Zhang R, Lin YL. Development of equipment management and monitoring software for EAST-NBI. The 2nd International Conference on Advanced Computer Science Applications and Technologies. Zhengzhou, China. 2013. 23–24.
- 7 叶树华,高志红.网络编程实用教程.第2版.北京:人民邮电出版社,2013.