

嵌入式 Internet 与家庭网关技术

董 炜, 杨士元
(清华大学 自动化系, 北京 100084)

摘 要: 介绍了国内外嵌入式 Internet 技术的发展现状,对主流技术进行了分类,并分析了嵌入式 Internet 系统的结构和特点;展现了家庭网关的软硬件结构、开发应用模式以及设计中遇到的问题;针对较大的网络通信延时,给出了通过异步调用消除网页界面停滞现象的方法;最后分析了嵌入式 Internet 技术的发展趋势。

关键词: 嵌入式 Internet; 家庭网关; 嵌入式 Linux

中图法分类号: TP368 文献标识码: A 文章编号: 1001-3695(2005)06-0222-04

Research of Embedded Internet and Home Gateway Technology

DONG Wei, YANG Shi-yuan
(Dept. of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The development status of embedded Internet technology is introduced. A classification of popular related technologies as well as the analysis for the structure and feature of a typical embedded Internet system is given. The hardware and software structure, as well as the development and application mode and some problems encountered in the design process is presented. Aiming at the large time delay in network communication, an asynchronous invoking method to eliminate the stagnancy of Web interface is given. At last, the development trend of Embedded Internet technology is analyzed.

Key words: Embedded Internet; Home Gateway; Embedded Linux

20 世纪 90 年代后期,随着 PC 和 Internet 技术的普及,嵌入式、分布式计算技术以及高宽带、高服务质量的网络通信技术发展迅速,芯片的集成度不断提高,在这样的背景下,出现了嵌入式 Internet 技术。这一技术致力于嵌入式设备的 Internet 接入和互连,它提供一个分层、动态和分布式的体系结构,使设备能够高效、可靠和便捷地获取网络资源和实现全球范围的信息共享。嵌入式 Internet 技术集网络和嵌入式开发技术于一体,可用于远程数据采集、安全监控、楼宇自动化、智能家居、能源管理和远程医疗等众多领域,具有广泛的应用前景。

家庭网关是嵌入式 Internet 技术应用于智能家庭网络的产物,它是一种连接于家庭网络和外部网络(如 Internet)之间的嵌入式设备,使得家庭网络能够实现低成本的 Internet 接入。通过家庭网关,人们可以方便地在 Internet 上从远端对家中的设备进行监控和管理,同时也使得远程设备维护和集成设备管理成为可能,还可以使设备主动地通过 Internet 获取信息或发送信息。这不仅使人们享受到信息技术给生活带来的便捷和乐趣,还大大地提高了工作效率。

1 嵌入式 Internet 技术研究现状

1.1 相关技术介绍

当前流行的嵌入式 Internet 技术主要包括 emWare 公司的 EMIT 技术^[10]、武汉力源公司的 WebChip 技术^[11]、CMX 公司的 CMX-MicroNet 技术^[12]、NetSilicon 公司的 NET + Works 技术^[13]、Connect One 公司的 iChip 技术^[14]、Uicom 公司的 Sce-

nix/IP2000/IP3000 系列处理器^[15],以及 Rabbit 半导体公司的 Rabbit 系列处理器^[16]等。这些技术在相关的参考文献及网站上已有较多的介绍,本文不再赘述。

其他的一些相关技术还包括^[2~4] eDevice 公司将其 Smart-Stack 互联网软件嵌入到数字信号处理器(DSP)芯片中,使得这种 DSP 芯片具有上网功能,并可以装在各种设备中。iReady 公司提供针对一般消费类电子的低端解决方案(称为 Internet Tuner),它是芯片级解决方案,使一般电子产品也能与因特网连接。Philips 公司作为扩展 Internet 联盟(Extend the Internet)的成员,结合 EMIT Core 技术推出了 XA-G49 微控制器,它有 64KB 闪存和 2KB SRAM,可支持在系统编程(ISP/IAP),能让设计者在应用程序运行过程中通过自编程 Flash 技术改变代码。另外,Xilinx 公司和 GoAhead 软件公司合作,率先实现了 FPGA/CPLD 通过 Internet 的远程更新和动态重构。

在工业控制领域,美国 OPTO22 公司采用嵌入式 Internet 技术,研制开发了以太网 I/O 系统——SNAP I/O 系统,通过 Internet 对分布在远程设备现场的 I/O 口进行访问。此外,惠普公司应用 IEEE 1451.2 标准,开发了具有以太网接口的嵌入式以太网控制器,可以应用于传感器、驱动器等现场设备。在家庭自动化领域,Sena 公司开发了一个小型的实验室系统,让全球的 Internet 用户在网上访问并控制实验室的智能设备。这些设备包括可调亮度的台灯、可调速度的电风扇以及开关式的壁灯。

1.2 主流技术分类

从整体效果上看,这些方案都实现了嵌入式设备的网络接入,为了做到这一点,原有的嵌入式设备必须进行或多或少的改造。从这个角度可以对以上方案进行以下大体的分类:

(1) EMIT 和 WebChip 都只需要对原有设备进行微小的改

动,前者需要为设备增加 emMicro 软件及相应接口,后者需要为设备增加 WebChip 芯片及相应的接口。经过这些改动之后,设备可以接入轻量级的设备网络,而设备网络再通过网关接入 TCP/IP 网络。

(2) NET + Works 为网络设备的开发提供了整套的片上系统(SOC) 解决方案。此外,它还提供完整的专有操作系统,使用这样的解决方案,对原设备已经不只是改造了,而是重新设计,因为需要以片上系统为核心重新进行应用开发。UbiCom 公司和 Rabbit 半导体公司提供的技术与此类似。对于这种需要重新设计的解决方案,既可以用它进行专有应用开发,也可以进行通用应用开发。通用应用开发的一种常见形式就是 RS-232/RS-485 到 TCP/IP(Ethernet 或 Modem) 的网关。

(3) iReady 和 Connect One 则提供网络芯片实现嵌入式设备的网络接入。原嵌入式设备只需增加网络芯片及相应的接口。它们有些类似于 WebChip,所不同的是它们不经过设备网络而直接接入 TCP/IP 网络。这些公司除了提供基本的网络芯片外,还将网络芯片和相应的接口组合在一起形成网络模块,如 WebChip Module, iLAN 和 iModem 等,另外, Connect One 还将网络芯片用于传真机形成了网络传真机系列产品。

(4) eDevice 的核心产品是运行于 DSP 中的软件协议栈 SmartStack,它提供三个层次的嵌入式 Internet 解决方案:软件级(芯片级) eDsoft、模块级 eDmod 和设备级 eDbox。总的来看,其解决方案与上边的网络芯片类似,不过更侧重于软件。

2 嵌入式 Internet 系统的结构和特点

一般来说,一个典型的嵌入式 Internet 系统具有如图 1 所示的结构。从逻辑上看,一个嵌入式 Internet 系统一般分为接入系统和应用系统两部分(它们之间的连接通常采用 RS-232 / RS-485 等串行协议)。应用系统可以是单个的设备,也可以是由多个设备组成的设备级网络(如各种家庭网络和现场总线)。对于由单个设备组成的应用系统,接入系统和应用系统也常常在物理上合为一体,成为一个设备。

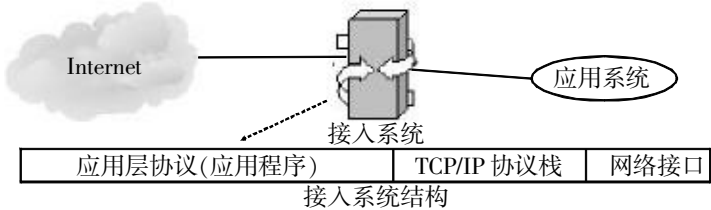


图 1 典型的嵌入式 Internet 系统结构

接入系统一般包括网络接口、TCP/IP 协议栈、应用层协议等几个部分。TCP/IP 协议栈是接入系统的核心部分,通常由软件实现,也可以采用硬件实现。接入系统可以采用多种网络接口和应用层协议。常用的网络接口有以太网接口、Modem、ADSL Modem、Cable Modem 等。常用的应用层协议有 HTTP, FTP, SMTP 和 Telnet 等。嵌入式操作系统(Embedded OS) 对于接入系统来说通常不是必需的,但它能增强接入系统的功能和性能。在接入系统与应用系统合为一体的情况下,常常采用嵌入式操作系统。

从结构特征上看,嵌入式 Internet 技术与常规的 Internet 接入技术之间并无本质的区别。但因为嵌入式系统具有不同于一般 PC 机的显著特点,它对特定的应用有很强的针对性,使得它具有资源紧缩、多样性强、位置分散、实时性强、成本敏感

等特点,所以网络接入系统的微型化和低成本化是嵌入式 Internet 技术需要解决的核心问题。另外,它还必须在一定程度上解决系统的易用性、可扩展性以及安全性问题。

3 一种基于嵌入式 Linux 的家庭网关设计方案

我们基于 PowerPC 硬件平台和嵌入式 Linux 操作系统开发了一个家庭网关,用于家庭网络和外部网络的互连。由于采用了 32 位嵌入式微处理器和 Linux 操作系统,所以该家庭网关属于高端嵌入式 Internet 解决方案。

3.1 系统硬件结构

硬件部分包括 CPU 基本系统、以太网接口、RS-485 接口、RS-232 接口、USB 接口。CPU 基本系统包括电源、复位、Flash、内存等电路。系统硬件结构如图 2 所示。

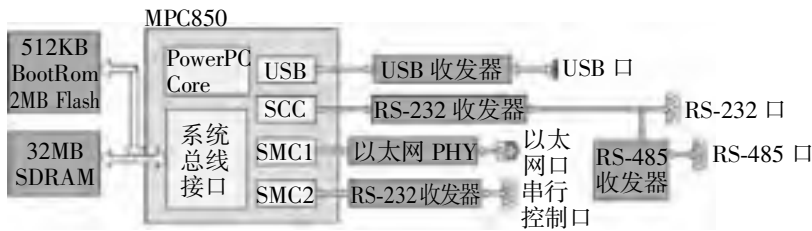


图 2 家庭网关硬件结构

硬件结构的核心为 Motorola 公司的 MPC850 微处理器,它是一个多用途的通用芯片,内部集成了嵌入式 PowerPC 核和一个专用于通信的 RISC 的通信处理器模块(CPM)。MPC850 的 CPM 支持六个串行通道:一个串行通信控制器(SCC),一个通用串行总线控制器(USB),两个串行管理控制器(SMC),一个 I²C(Inter-Integrated Circuit) 接口和一个串行外围接口电路(SPI)。由于 CPM 分担了嵌入式 PowerPC 核的外围工作任务,这种双处理器体系结构比传统单处理器的体系结构具有更高的效率。

Flash 分为 BootRom 和程序 Flash, BootRom 中存储板级支持程序。在系统上电后,首先执行 BootRom 中的程序。程序 Flash 中存储 Linux 内核和应用程序。

3.2 系统软件结构

整个系统软件部分从下到上可大体分为三个层次(图 3):板级支持程序(BSP)、嵌入式 Linux 内核以及系统应用程序。

板级支持程序主要用于系统的引导和程序 Flash 的擦写。我们采用的是 PPCBoot 软件,它是一种专门用于 PowerPC 系统的源代码开放的板级支持程序。嵌入式 Linux 内核是整个软件系统的主体,它不仅为应用程序提供真正的多任务运行环境,还提供强大的硬件驱动、网络和文件系统支持。应用程序主要包括嵌入式 Web 服务器、控制台程序以及其他一些应用服务程序(如网口与串口之间的协议转换程序)。嵌入式 Web 服务器使用户通过浏览器即可实现对设备的访问,控制台程序用于网关的本地配置(通过一个串行终端进行)。

在 Linux 操作系统支持下,系统实现了一个基于 RAMDisk 的文件系统,其中包含应用程序、网页文件和其他一些系统文件。应该说,文件系统对于嵌入式 Linux 系统来说不是必需的,但文件系统可以增强系统的功能,有利于应用软件的开发和调试。

3.3 系统开发模式

嵌入式系统的开发不同于常规 PC 上的应用开发,由于嵌

入式计算机缺乏足够的计算和存储能力、缺少输入/输出设备,所以开发和调试工作通常必须借助于一台 PC 机来完成。这台 PC 机通常称为宿主机,而嵌入式系统本身则称为目标系统或目标板。宿主机和目标系统之间通过串口线或网线相连接。这种基于宿主机和目标系统的开发模式也被称为交叉开发模式。该系统开发主要采用基于 NFS(网络文件系统)的交叉开发模式,系统结构如图 4 所示。

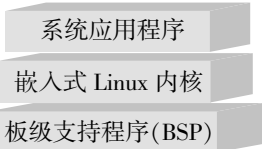


图 3 家庭网关软件结构

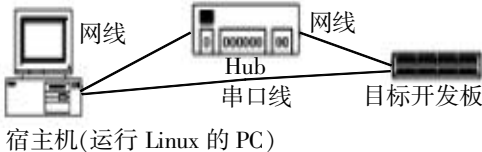


图 4 交叉开发系统配置结构

应用程序开发步骤如下:

- (1) 建立交叉开发调试环境,如图 4 所示;
- (2) 在宿主机上配置 NFS(网络文件系统) Service;
- (3) 在宿主机上启动串行终端程序(如 MiniCom)作为目标板的终端界面;
- (4) 在宿主机上开发、编译应用程序;
- (5) 将宿主机上存放应用程序的目录 Mount 到目标板的文件系统中;
- (6) 通过串行终端在目标板上执行应用程序,并观察程序执行结果。

由于在开发板上没有配置 Gdb Server,所以无法通过 Gdb 对开发板上的程序进行调试。调试是通过人为地在程序中关键位置加入类似 Printf 之类信息输出指令实现的,所以这种模式下调试往往需要不断地修改应用程序。针对这种情况,通过使用 NFS,可以避免每次运行程序都要下载和擦写 Flash,大大提高了效率。

这种模式中,目标板实际上借用了宿主机的显示终端(通过串口)和文件存储介质(通过 NFS)形成了一个完整的计算机系统。

3.4 系统应用模式

本系统在客户端采用网页 + ActiveX 控件的应用模式。采用 ActiveX 控件主要是因为: 嵌入式 Web 服务器对动态网页(如 CGI)的支持十分有限,不使用 ActiveX 控件难以通过 Web 浏览器实现远程监控功能; 采用 ActiveX 控件有利于提高控制数据的通信效率,因为它直接在 TCP 层实现通信而避开了 HTTP 层。

远程监控的操作流程(图 5)如下:

- (1) 客户端向家庭网关中的嵌入式 Web 服务器申请网页,嵌入式 Web 服务器将包含 ActiveX 控件的网页返回给客户端。这一步是在 HTTP 层上完成的。
- (2) 客户端执行 ActiveX 中的程序向家庭网关中的协议转换程序发送监控指令和数据。这一步是在 TCP 层上完成的。
- (3) 家庭网关中的协议转换程序向客户端反馈监控指令的执行结果。这一步也是在 TCP 层上完成的。

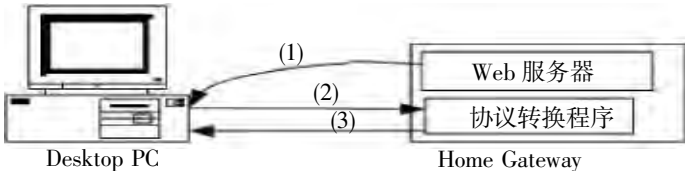


图 5 使用 ActiveX 控件的远程控制流程

在 ActiveX 控件的设计过程中还采用了异步调用的设计思想。常规的同步调用必须等到任务完成以后才能返回,对于远程分布式应用,由于远程调用所需的时间较长,将会对用户界面乃至其他任务的运行造成影响(图 6)。所谓异步调用,是指过程调用不等执行任务完成就立即返回(采用多线程),任务以事件触发的方式启动,任务执行结果以事件通知(消息或信号)的形式反馈给原始线程(图 7)。实践证明,采用异步调用可以明显改善操作界面的停顿现象。但因为采用了事件和并行处理机制,程序设计复杂性有所增加。

另一个需要注意的问题是整个系统的网络安全性问题。采用 ActiveX 控件之后,仅仅针对 Web 服务端口实施访问控制是不够的,还需要对协议转换程序的服务端口也实施访问控制,因为这一端口是独立于 Web 服务器接收来自网络的命令的。如果要求更高的安全性,仅仅实施访问控制是不够的,还需要采用一定的规范(如 SSL)对数据进行加密。

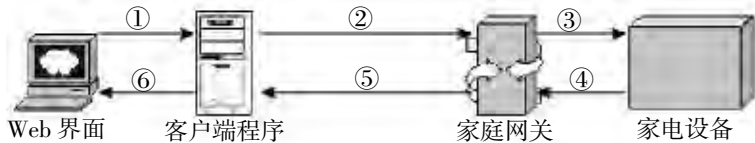


图 6 同步调用模式

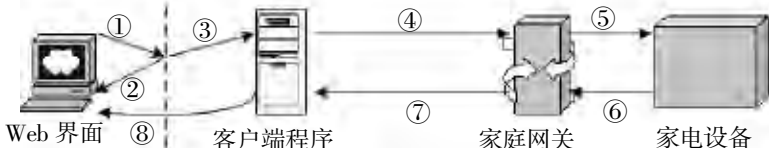


图 7 异步调用模式

4 嵌入式 Internet 及家庭网关技术发展趋势

Java 技术具有与平台无关、安全性好、简单易用等特点,它的广泛应用将是今后嵌入式 Internet 技术发展的趋势。这方面的相关技术主要有 J2ME 技术、Jini 技术和 OSGi 规范。

4.1 J2ME 和 Jini 技术^[7]

J2ME(Java 2 Micro Edition)是 SUN 公司 Java 2 平台的微型化版本,它将 Java 技术引入到小型消费类电子产品和各种嵌入式设备中,可以充分利用 Java 的优势,方便地实现嵌入式应用的开发。Jini 是一种基于 Java 的分布式计算技术,它使各种小型设备能够以一种简洁的方式接入到网络中。Jini 提供一组崭新的机制,其设计目标是使软件和硬件能够自动结合起来,形成一个设备和服务的联盟。J2ME 和 Jini 的关系如图 8 所示。

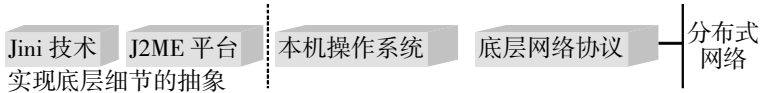


图 8 基于 J2ME 平台的 Jini 系统结构

J2ME 和 Jini 技术的应用将为嵌入式设备带来下述好处:

- (1) 易于使用。连接自动完成;行为不随供应商不同而有所改变。
- (2) 健壮的应用程序。设备能够采用间歇式的连接。
- (3) 极少或者零管理。人们无须介入管理工作,一切均由系统在后台自动完成。
- (4) 直接交互。各个设备间可以毫不费力的交流。
- (5) 间歇式的连接能力。设备可以处理连接的丧失。

4.2 OSGi 规范^[17]

OSGi(Open Services Gateway Initiative)是一个非盈利性的国际组织,它建立于 1999 年 3 月,其任务是为局部网络和设备

对外(外部网络) 提供的服务创建一个开放的规范。它的成员公司已超过 80 个, OSGi 规范已迅速成为下一代 Internet 服务接入家庭、汽车、小型办公室以及其他环境的首要标准。

OSGi 规范是一种基于 Java 技术的技术规范, 它为服务提供者、开发者、软件供应商、网关操作者、设备供应商提供一个开放的、通用的框架结构, 使得他们能以协同的方式进行服务的开发、配置和管理。OSGi 规范为网关平台执行环境描绘了一个应用编程接口(API) 标准。这些 API 涉及服务生命周期管理、内部服务依赖性管理、数据管理、设备管理、客户访问、资源和安全管理。使用这些 API, 最终用户可以命令的方式从服务提供者那里获得基于网络的各种服务, 而网关可以管理这些服务的安装和配置。

OSGi 规范从整个 Internet 网络系统和服务的角度来考虑嵌入式设备和设备网络的 Internet 接入问题, 它的广泛应用将推动技术的规范化, 使嵌入式 Internet 应用进一步向纵深发展。

5 小结

嵌入式 Internet 技术是随着计算机和网络技术的发展而出现的一项新兴技术, 它使得各种嵌入式设备可以很方便地从 Internet 上获取信息和资源。本文介绍了国内外嵌入式 Internet 技术的发展现状, 对主流技术进行了分类, 并分析了嵌入式 Internet 系统的结构和特点。

家庭网关是嵌入式 Internet 技术与智能家庭网络技术结合的产物, 它用于家庭网络与外部网络之间的互连。本文通过一个实例展现了家庭网关的软、硬件结构以及开发应用模式。

Java 技术的广泛应用是今后嵌入式 Internet 技术发展的趋势。这方面的新技术主要包括 J2ME 和 Jini 技术、OSGi 规范, 它们的应用将大大促进嵌入式 Internet 技术的发展, 使计算和网络进一步融入我们的工作和生活。

参考文献:

[1] 热娜古丽·吐尔地, 唐光荣, 杨士元. 嵌入式系统网络化技术及其在家庭网络中的应用[J] . 计算机工程, 2002, 28(3) : 184-185, 259.

[2] 吴晓蓉, 汪栋, 涂时亮. 互联网技术在嵌入式系统中的实现[J] . 计算机工程, 2001, 27(4) : 1-3, 53.

[3] 陶波, 丁汉, 熊有伦. 基于嵌入式 Internet 的工业控制[J] . 测控技术, 2001, 20(8) : 5-9.

[4] 栗大超, 宋光德, 靳世久. 嵌入式系统的 Internet 互连技术[J] . 微计算机信息(测控仪表自动化), 2000, 16(6) : 4-5, 11.

[5] 彭少熙, 孙政顺, 杜继宏. 家庭网络中的嵌入式 Internet 方案[J] . 电子技术应用, 2001, (10) : 47-50.

[6] 庄言春, 何熙文. 基于 Internet 的嵌入式模糊控制技术[J] . 微处理机, 2001, (2) : 18-20.

[7] [美] Hinkmond Wong. J2ME——Jini 应用系统开发[M] . 马波. 北京: 机械工业出版社, 2003.

[8] Burton H Lee. Embedded Internet Systems: Poised for Takeoff[J] . IEEE Internet Computing, 1998, (5-6) : 24-29.

[9] Robert E Filman. Embedded Internet Systems Come Home[J] . IEEE Internet Computing, 2001, (1-2) : 52-53.

[10] emWare Co., Ltd. EMIT—powerful Technology for Developers[EB/OL] . <http://www.emware.com/EMIT/index.html>, 2004.

[11] p&s Co., Ltd. WebChipServer 用户手册及开发者指南[M/OL] . <http://www.icbase.com/>, 2001-07.

[12] CMX Systems Co., Ltd. True TCP/IP Networking on 8-bits and 16-bits Processors[EB/OL] . <http://www.cmx.com/>, 2004.

[13] NetSilicon Co., Ltd. NET + Works for NET + OS Software Reference Guide[M/OL] . <http://www.netsilicon.com/>, 2001-03.

[14] Connect One Co., Ltd. iChip & iChip LAN Datasheet (ver 5. 20) [M/OL] . <http://www.connectone.com/>, 2002-01.

[15] Ubicom Co., Ltd. IP2022 Internet Processor User 's Manual [M/OL] . <http://www.ubicom.com/>, 2001-12.

[16] Rabbit Semiconductor Co., Ltd. RabbitCore RCM3000 User 's Manual[M/OL] . <http://www.rabbitsemiconductor.com/>, 2002-04.

[17] OSGi Service Platform Specification (Release 3) [EB/OL] . <http://www.osgi.org/>, 2003-03.

作者简介:

董炜(1978-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为智能家庭网络与家庭网关技术、基于网络的远程控制技术; 杨士元(1945-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电子技术、检测技术、系统故障诊断理论与技术、智能家庭网络理论与技术。

(上接第 215 页)

增强网络性能, 提高网络服务质量产生深远影响, 并最终将成为继计算机网络体系结构、网络信息技术、网络安全技术后计算机网络领域的又一大研究方向和热点。

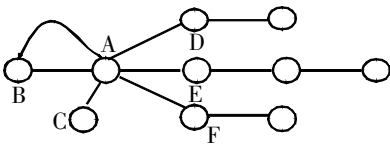


图 10 动态热点控制

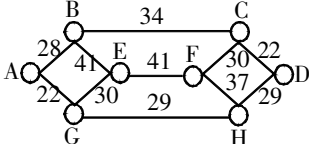


图 11 网络权值图

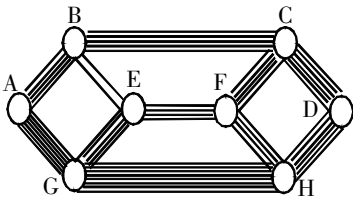


图 12 流量图

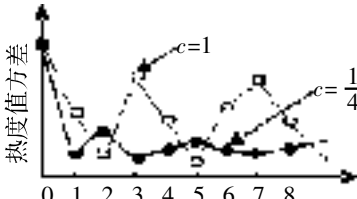


图 13 不同 c 误差曲线

表 3 2 次热度值表

节点	A	B	C	D	E	F	G	H
热度值	9	16	13	11	19	17	12	15
热度值方差	9. 75							

表 4 热度值表

节点	A	B	C	D	E	F	G	H
热度值	12	12	16	12	10	13	19	18
热度值方差	9. 25							

参考文献:

[1] 任立勇, 卢显良. 可靠组播控制最新研究进展[J] . 计算机科学, 2002, 29(2) : 51-54.

[2] 曾家智, 等. 计算机网络[M] . 成都: 电子科技大学出版社, 2002.

[3] 周明天, 汪文勇. TCP/IP 网络原理与技术[M] . 北京: 清华大学出版社, 1993.

[4] http://202.96.1.181/peixun/peixun_top.htm[EB/OL] .

[5] 蒋学勤, 杨丽芳. 网络中两类拥塞控制算法比较[J] . 贵州大学学报, 2003, 20(4) : 418-420.

[6] Andrew S Tanenbaum. Computer Networks[M] . 北京: 清华大学出版社, 1996.

[7] 王彬, 吴铁军. 即时恢复——一种新的 TCP 拥塞控制快速恢复算法[J] . 通信学报, 2003, 24(12) : 69-75.

作者简介:

王波(1978-), 男, 四川内江人, 硕士研究生, 研究方向为网络数据控制; 黄迪明(1944-), 男, 四川成都人, 教授, 主要研究方向为网络信息技术、网络安全技术。