

基于 LPC2210 微处理器嵌入式网络通信系统终端设计与实现

龚永明^{1,2}

(1. 南开大学 计算机与控制工程学院, 天津 300071; 2. 天津市信息中心, 天津 300201)

摘要: 伴随信息通讯技术、网络技术、电子技术的飞速发展, 嵌入式系统终端也开始受到关注, 寻求具有网络通讯的功能; 文章所研究的嵌入式系统的网络通信采用 ARM 作为嵌入式开发平台, 系统采用 SmartARM2200 开发板, 使用支持仿真和嵌入式跟踪的 LPC2210 微处理器; 结合网络通信系统, 最终选择具有 TCP/IP 协议的嵌入式 uLinux 操作系统, 构建系统文件, 完成嵌入式 TCP/IP 设计; 并利用 socket 函数实现数据的接受、发送和校验等, 实现服务器端和客户端的通信; 最后在 ARM7 平台 SmartARM 上运行带有 Linux 内核的 uLinux 操作系统上进行试验, 实验证明了所设计的通信系统数据传输的实现及可靠性。

关键词: 嵌入式系统; 网络通信; Socket 通信函数; TCP/IP 协议

Terminal Design and Realizing of Embedded Network Communication System Based on ARM

Gong Yongming^{1,2}

(1. College of Computer and Control Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China;
2. Tianjin Information Center, Tianjin 300201, China)

Abstract: with the rapid development of network communication technology, extensive requirements of production and life in embedded system terminal can complete the network communication function. This paper adopts ARM as embedded development platform, embedded with network communication function. Using the embedded LPC2200 processor ARM system structure, according to the network communication system, based on various design scheme, select the recipients with TCP/IP protocol embedded operating system uLinux. Cutting and customization system, building the file system related. On this basis, application program, Socket communication function call system, communication between the server and the client. The implementation of network access function of embedded device, embedded terminal each with network communication function can communicate, effectively improve the application scope of embedded equipment.

Key words: embedded system; network communication; Socket communication function; TCP/IP protocol

0 引言

当前计算机技术和微电子技术发展迅猛, 特别是纳米技术取得了重大进展, 嵌入式芯片的设计和开发也越来越迅速^[1]。对嵌入式芯片的运行速度要求越来越快, 存储器也越来越大, 这大大推进了嵌入式技术的发展, 嵌入式系统在一定的程度上推进了现代生活的提高和改善。

在计算机应用方面, 嵌入式系统^[2]开拓了一个崭新的领域, 其发展完善了网络管理, 增强了网络自身的性能, 提高了灵活性, 有效实现各种通信系统的互联, 具有实时性^[3]。互联网是我们日常办公生活中最常用的网络, 很方便地把我们相互连接^[4]。目前, 互联网已经开始普及, 包括广大的农村, 网络成为了我们生活的一部分。由于嵌入式系统低功耗、面向应用等特点, 在网络通讯方面得到了广泛的应用^[5]。我们使用的移动设备, 大部分都是基于嵌入式系统。

嵌入式系统是控制和监视大规模系统的设备, 集成了计算机硬件、系统和应用, 其硬件和软件都能按照系统需要裁剪,

适合于应用系统的各种功能^[6]。设计嵌入式系统能够节约成本、减小系统体积, 优化、提高系统可靠性及加强管理等功能。将嵌入式系统充分结合电子、计算机、通信、网络等技术时, 就能有效提高系统灵活性、集成度, 充分实现系统之间的相互通信^[7]。

论文采用 ARM 为嵌入式开发平台, 开发具有网络通信功能的嵌入式终端。利用支持仿真和嵌入式跟踪的处理器 LPC2200, 结合网络通信系统, 最终选择具有 TCP/IP 协议的特定的 ARM7 平台下的嵌入式 uLinux 操作系统, 构建系统文件。并利用 Socket 函数实现数据的接受、发送和校验等, 实现服务器端和客户端的通信。

1 系统平台设计

系统最终选择带 TCP/IP 协议族的 uLinux 操作系统来完成项目的设计, 所以要针对 uLinux 上程序的开发配置特定的 PC 机环境。

嵌入式系统主要是面向应用的, 是一个片上系统, 因此它的体积是很小的, 包括它的 RAM 和 ROM 都是有限的, 这就决定了对其调试不能直接在系统上进行, 而是需要在交叉编译的环境下, 也就是“目标机和宿主机”交叉编译的方式, 如图 1 所示。

收稿日期: 2013-11-07; 修回日期: 2014-01-25。

作者简介: 龚永明(1982-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事政府网站设计开发维护方向的研究。

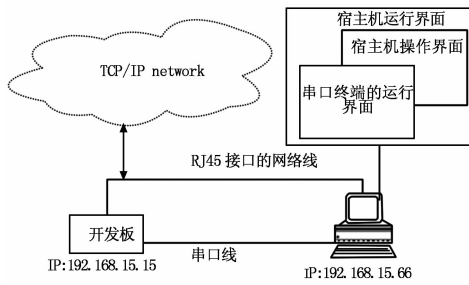


图 1 uClinux 的交叉编译环境

目标机主要用于运行操作系统和相应的应用软件，而宿主 PC 机主要实现编译操作系统的内核、开发和调试应用程序的任务。两者通过串口进行通讯。目标机运行 uClinux 系统，并在系统上运行嵌入式应用软件。运行操作系统时，首先要将定制的操作系统进行编译，这是一个繁琐复杂的过程，编译通过后，进行应用程序的设计开发。上面已经提到，嵌入式系统由于资源有限，这些工作的安装调试需要在目标机进行，调试完成后下载到宿主机中，这也可能是一个反复进行的工作。目标机需要安装 Linux 系统，而要想在 Windows 下开发适用于嵌入式操作系统的相关应用程序，可以装上 Cygwin 软件。建立 PC 上的开发环境应在宿主机上安装标准 Linux 操作系统，推荐使用 RedHat Linux，一定要确保计算机的网卡驱动、网络通讯配置正常。

采用 ARM 和 Thumb 程序可以相互调用，相互之间状态切换开销几乎为零。寻址方式是根据指令中的地址码字段寻找操作数存放位置的方式。

系统设计采用 SmartARM2200 开发板，使用 NXP 公司的 LPC2210 微处理器。LPC2210 基于 ARM7TDMI 内核，系统时钟频率达 60 MHz，总线对外开放，宽度可配置为 8/16/32 位。同时还扩展了 RTL8019AS (10 Mb/s) 以太网控制器。

本文设计以 SmartARM 进行，开发板上接 JTAG，串口，网络线，并且 BOOTSET 设置为 outside，设置 Bank0 为 Flash，Bank1 设置为 RAM，接通应用的模块的跳线，再将编译好的系统内核文件烧到开发板上，开发环境建好后，并启动开发板上的 uClinux 操作系统

2 系统硬件设计

2.1 根文件系统的建立

内核移植完成后，需要建立嵌入式的根文件系统，根文件是嵌入式系统重要组成部分。uClinux 主要应用于没有 MMU 单元的嵌入式芯片，主要目的是节约内存和 Flash。根据使用场合的不同，根文件系统也有多种选择。在目前的嵌入式开发过程中，ROMfs 是使用最多的文件系统。

ROMfs 文件系统比较简单，文功能紧凑，并且是只读的。在 ROMfs 中，文件数据是按照顺序存放的。uClinux 系统可以直接运行，这样做的最大优势是节约 RAM 空间，提高运行速度。因此，根据系统的设计需求，选用 ROMfs 根文件系统。当然，为了支持它，在内核的配置中需要内核支持 romfs 文件系统，并且在内核配置完毕后建立虚拟 ram 盘，提供用户接口。

2.2 构建文件系统

构建文件系统是为了方便系统组织和管理文件，而在物理

设备上构建的目录等，它是 uClinux 系统处理数据的基础条件。uClinux 系统的所有有效数据，包括用程序、库、系统文件和用户文件都按照目录存放在文件系统中。uClinux 系统的文件系统，在组织上按照树状结构的方式进行组织，也就是顶部是根目录，从根向下进行分支，通常把文件系统的最顶端成为根目录。在通常情况下 uClinux 系统只有一个文件树，以树根 “/” 作为其起点，其它外部设备等以树的形式挂结在文件树上^[8]。

设计中选择的 ROMFS 文件系统，主要是考虑到系统的存储结构。因为这种文件系统的内核比较小，通常情况下只有 4 000 字节左右，而且是只读文件，对节约系统资源十分有用。内核只需连接 ROMFS 文件系统就实现连接，当它与 CRAMFS 结合就能适应嵌入式系统。再用模块装载工具将其其它模块和文件系统进行装载。

3 软件平台设计

3.1 嵌入式 TCP/IP 设计

TCP/IP 协议比较复杂，因为嵌入式设备的资源和效率都是够用就好，因此在嵌入式系统上面来设计一个 TCP/IP 协议要受到相应的限制。论文在设计 TCP/IP 框架的时候，考虑到相关的技术要求和需求，设计了一个最有效的框架，它能完成特定的功能，协议框架如图 2 所示。

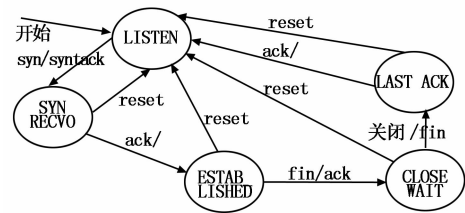


图 2 嵌入式 TCP/IP 框架

对于 TCP 连接，嵌入式系统需要把传递的数据、参数等存入指定的位置中，完成一次简单的数据服务。TCP 服务器端是被动打开，建立连接后嵌入式系统就成为被动方，一直在侦听连接请求。它监听服务器，判断是否是被动打开，状态为 listen，等待对方的发送请求并进行连接。当客户端收到 SYN 数据片后，发出 SYN+ACK 同时判断是否收到对方的 SYN 数据片，收到后将其状态更改为 SYN_RECEIVED。第三步客户端返回一个空数据片包含 ACK，这样 TCP 的 3 次握手全部完成，进入 ESTABLISHED 状态，服务器端和客户端成功建立连接并且利用 TCP 进行通讯。

嵌入式系统在建立首次连接时，对序列号进行初始化。在接下来的过程中系统并不记忆 TCP 序列号，而是按照客户端发中的值重新分发序列号，如果遇到重复报文无法识别，照常对其回应。在设计中，嵌入式服务器不需要存储连接信息，它对客户端发出的所有连接请求都响应，按照顺序逐个接收、发送和确认执行，实现有限资源下的多连接。服务器端接收 TCP 请求后，立即发送缓冲存储器中的数据，这样只要一个数据报就传输完成，不必考虑失序问题。

嵌入式系统采用的传输方式为标准 TCP 协议中的滑动窗口，发包一次后就等待应答而不保存，如果出现丢包，系统接收不到确认包，就认为自己所发包已经丢失，嵌入式系统自动发送上次发送的数据。

在 TCP 连接中，当一方由于异常而崩溃或关闭连接时，系统发送数据会有复位信号回复，重新开始，由于它无存储因而也无损失。

在 TCP/IP 网络应用中，客户机/服务器是进程采取的主要交互模式。在实现过程中采取主动请求的方式。服务器首先打开信道启动服务，再根据客户请求执行服务，具体步骤如下：

- (1) 服务器打开通信通道，启动服务，并告知客户在指定端口接收请求；
- (2) 等待客户所发出的请求到达指定地址；
- (3) 如果收到重复请求，发出应答信号。接收到并发请求，服务器激活新进程处理并发请求。并发请求处理完成后，服务器立即关闭新进程的通信链路；
- (4) 服务器返回执行第二步，等待客户发出另一服务请求；
- (5) 所有请求执行结束，服务器关闭。

3.2 TCP 客户端设计

TCP 客户端向服务器提出连接请求，ServerSocket 收到 TCP 连接请求后，为这个请求创建一个新的实例 Socket，此时，服务器端要同时处理 ServerSocket 和 Socket 这两个实例，客户端只使用 Socket 实例就可以了。TCP 客户端的设计如流程图 3 所示。

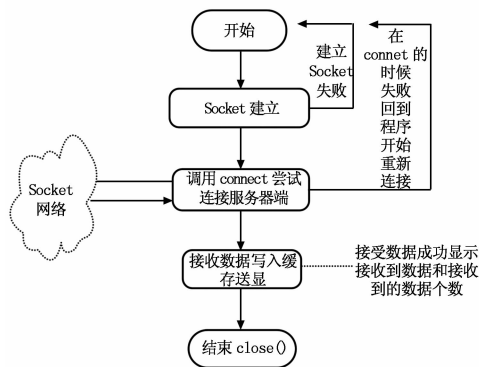


图 3 客户端程序简单示意图

首先客户端建立自己的 Socket，如果建立失败，则重新建立；当建立成功后，验证通过后，开始和服务器端进行连接，连接成功后，服务器端给客户一个连接成功的信息，然后开始进行数据的传输。在传输的过程中能够显示所接受数据的字节数、数据属性等相关信息，至此一次连接结束。

4 系统实验

本文实验环境，两台 PC 机或一台 PC 机上同时运行两个操作系统，一台 PC 机用网络线与开发板相连接，另一台 PC 机采用串口连接开发板的方式，在进行实验前确保网络通畅和串口的正常。带有 Linux REDHAT9.0 的 PC 机上或是在 Windows 平台下安装有 Linux 虚拟机上，测试服务器端程序的正常运行，具体的操作环境发生在 Linux 下终端上。

在 PC 机上启动用 VMware 安装的虚拟操作系统 Linux，启动后建立新的用户终端，然后运行服务器端程序，程序如果出现如图 4 的状态，正常启动服务器端程序状态表示服务器程序运行正常。



图 4 正常启动服务器端程序状态

本文是基于 ARM 的嵌入式 socket 通信设计，通过测试，可以看到设计后成功地实现了在特定的 ARM7 平台 Smart-ARM 上运行带有 Linux 内核的 uClinux 操作系统，在启动过程中配置了通信的 IP，驱动了网络芯片 8019 运行，在对 Socket 通信的功能测试中，系统成功地实现了容错功能、状态显示功能和数据的收发功能，在数据测试中，数据的测试结果如表 1 所示。可以清晰地看到所有测试数据均从服务器端发送到了客户端并且数据无误传，测试证明系统实现了预定目标。

表 1 数据的测试结果

名称	时间	实验环境	发送数据	收到数据	结果
数字发送测试	2011/5/20	设备正常启动	001	001	数据无误传
数字发送测试	2011/5/20	设备正常启动	999	999	数据无误传
数字发送测试	2011/5/20	设备正常启动	00009	00009	数据无误传
数字发送测试	2011/5/20	设备正常启动	100000	100000	数据无误传
数字发送测试	2011/5/20	设备正常启动	100000000	100000000	数据无误传
混合发送测试	2011/5/20	设备正常启动	swust	swust	数据无误传
混合发送测试	2011/5/20	设备正常启动	Testone	Testone	数据无误传
混合发送测试	2011/5/20	设备正常启动	No002	No002	数据无误传
混合发送测试	2011/5/20	设备正常启动	003socket	003socket	数据无误传
混合发送测试	2011/5/20	设备正常启动	ARMwork	ARMwork	数据无误传

5 结论

本文采用 ARM 为嵌入式开发平台，开发具有网络通信功能的嵌入式终端。利用 ARM 体系结构的支持仿真和嵌入式跟踪的处理器 LPC2200，结合网络通信系统，最终选择具有 TCP/IP 协议的特定的 ARM7 平台下的嵌入式 uClinux 操作系统，并利用 socket 函数实现数据的接受、发送和校验等，实现服务器和客户端之间的通信。本文不但完成了嵌入式设备的网络接入，还实现了各个嵌入式终端之间的相互通讯，并确保数据准确性。

(下转第 1940 页)

为了说明本文算法的有效性, 将其与朴素贝叶斯算法 (Naive Bayesian Classifier, NBC), 属性加权贝叶斯算法 (Weighted Naive Bayesian, WNB) 和基于 QBC 主动学习算法 (QBC) 进行比较。

表 1 数据集描述

数据集	数据集规模	数据集特征
Heart	270	13
Waveform	5 000	19
Cleve	296	10
Monks	248	7
Vote	435	16
Breast	683	10
Chess	3 196	36
Sick	3 772	29
Credit-rating	690	15

5.2 实验结果

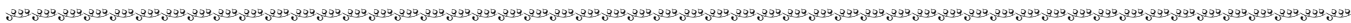
实验重复 20 次, 依次得到在 9 个数据集在 4 个算法上的正确率 (CR) 和标准误差 (SE), 如表 2 所示。从表 2 中可以看出算法除在数据集 Chess 和 Vote 外, 本文算法在其余数据集上均取得了较好的效果。分析发现 Chess 和 Vote 这两个数据集样本属性之间的相关性很强, 我们提出的属性加权模型需要更复杂的形式才能很好地表达此属性对分类的影响, 而其标准误差要低于其他算法。

表 2 算法正确率和标准误差比较结果

Datasets	NBC		WNB		QBC		ALKLSS	
	CR	SE	CR	SE	CR	SE	CR	SE
Heart	83.01	2.79	84.28	2.54	83.45	3.02	85.50	1.64
Waveform	79.56	3.10	81.64	2.28	81.69	2.79	83.67	2.15
Cleve	82.44	1.56	83.05	2.19	83.56	1.68	84.59	1.40
Monks	77.90	2.59	78.20	2.54	78.80	2.60	79.06	2.39
Vote	90.27	3.12	91.21	2.89	91.13	3.03	91.37	1.19
Breast	96.02	2.22	96.89	2.11	97.09	2.21	98.18	1.45
Chess	77.89	1.76	78.67	1.57	77.90	0.98	78.85	0.87
Sick	92.61	2.35	93.69	2.24	93.53	1.99	95.43	0.98
Credit-rating	77.69	3.23	78.78	2.94	79.87	2.81	83.10	2.44

6 结束语

本文提出的基于改进贝叶斯的主动学习与半监督学习结合算法, 集中了半监督学习和主动学习算法的优势, 避免了由于被动接受数据而带来的分类效果不理想问题, 同时, 得到的分类器也可以自动预测和控制分类, 实验表明本文算法与朴素贝



(上接第 1937 页)

参考文献:

[1] 陈彩华, 龙卫兵, 刘彬. 基于 ARM-Linux 的家用网络平台设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (9): 2176-2177.
 [2] 刘余, 孟小华. 嵌入式智能家居终端通信模块的设计与实现 [J]. 计算机工程与设计, 2010, (8): 1689-1692.
 [3] 张云川, 王正勇, 卿颢波, 等. 基于 ARM 的便携式视频解码终端设计与实现 [J]. 计算机工程, 2009, 35 (4).
 [4] 耿卫平, 罗飞, 曹建忠, 等. 基于 ARM 平台和 GPRS 的远程监控系统 [J]. 计算机应用研究, 2006, 23 (6): 196-198.

叶斯、加权贝叶斯和基于 QBC 主动学习算法相比, 分类效果更好, 分类精度更高, 解决了人工智能领域的一些问题。下一步工作, 将改进半监督学习的效率, 提高算法执行效率, 并将其应用到多分类问题中。

参考文献:

[1] Letouzey F, Denis F, Gilleron R. Learning from positive and unlabeled examples [A]. Proceedings of the 11th International Conference on Algorithmic Learning Theory [C]. Sydney, Australia, 2000, 71-85.
 [2] Hu L S, Lu S X, Wang X Z. A new and informative active learning approach for support vector machine [J]. Information Sciences, 2013, 244 (9): 142-160.
 [3] Liu L, Xie Y G, Wang Z L, et al. A new graph based active learning method [J]. Procedia Engineering, 2012, 29: 2610-2620.
 [4] Leng Y, Xu X Y, Qi G H. Combining active learning and semi-supervised learning to construct SVM classifier [J]. Knowledge-Based Systems, 2013, 44 (5): 121-131.
 [5] Shen F R, Yu H, Sakurai K. An incremental online semi-supervised active learning algorithm based on self-organizing incremental neural network [J]. Neural computing & Application, 2011, 20 (7): 1061-1074.
 [6] Nigam K, McCallum A, Thrun S, et al. Text classification from labeled and unlabeled documents using EM [A]. International Conference on Machine Learning [C]. Stanford, USA, 2000, 39 (2-3): 103-134.
 [7] 邓桂骞, 赵跃龙, 刘霖, 等. 一种优化的贝叶斯分类算法 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (1): 199-201.
 [8] 杨帆, 张彩丽. 基于粗糙集理论的贝叶斯故障诊断方法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2007, 15 (11): 1470-1477.
 [9] Webb G I, Pazzan J. Adjusted probability Naive Bayesian induction [A]. Proceedings of the 11th Australian Joint Conference on Artificial Intelligence [C]. Berlin: Springer Verlag, 1998: 285-295.
 [10] Hall M. A decision tree-based attribute weighting filter for Naive Bayes [J]. Knowledge-Based Systems, 2007, 20 (2): 120-126.
 [11] 许震. 基于 KL 距离的半监督分类算法 [D]. 上海: 复旦大学, 2010.
 [12] 秦锋, 任诗流, 程泽凯, 等. 基于属性加权的朴素贝叶斯分类算法 [J]. 计算机工程与应用, 2008, 44 (6): 107-109.
 [13] Blake C L, Merz C J. UCI repository of machine learning databases [R/OL]. University of California, Irvine, Department of Information and Computer Science, 1998. <http://www.ics.uci.edu/~mllearn/MLRepository.html>.

[5] 吴金华, 郑耿, 李驹光. 基于 ARM9 的无线数据终端的设计与实现 [J]. 计算机工程, 2008, 34 (14): 253-255.
 [6] 赵晓军, 苏海霞, 任明伟, 等. 基于 ARM9 和 CAN 总线的远程监控系统 [J]. 计算机工程, 2010, 36 (5): 231-233.
 [7] 陶永, 鄢萍, 郭建兴, 等. 基于 MIPS 体系的嵌入式 Linux 引导装载系统的设计与实现 [J]. 计算机应用, 2004, 24 (11): 159-161.
 [8] 鲁力, 张波. 嵌入式 TCP/IP 协议的高速电网络数据采集系统 [J]. 仪器仪表学报, 2009, 30 (2): 405-409.