

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 200428037

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

嵌入式设备接入 HPC 系统关键技术研究

Key Technology Research on Access System between Embedded
Equipment and HPC System

李 颂

指导教师姓名: 李名世 副教授

专业名称: 计算机应用技术

论文提交日期: 2007 年 5 月

论文答辩时间: 2007 年 月

学位授予日期: 2007 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2007 年 5 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

- 1、保密（ ），在 年解密后适用本授权书。
- 2、不保密（）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

基于 Linux OS 的嵌入式装置由于其小型紧凑、接口丰富、价格低廉、抗恶劣环境、源代码公开等特性，目前被大量用作许多控制系统的终端设备和通信设备，承担着数据采集、数据交换及命令执行的重任。由于软硬件资源的限制，嵌入式设备通常不具有较高的智能，难以承担大中型实时系统的复杂数据处理和控制策略优化任务，这部分工作需要由控制中心的高性能计算机（HPC）来完成。由此需要研究嵌入式设备到 HPC 系统间的接入系统。由于控制系统前后端之间的通信可能面临数据量巨大、时延敏感、缺乏有线信道等问题，因此设计并实现高性能的接入方案并非轻而易举的事情。

本课题源于“985”工程“智能信息技术”项目的需要，对嵌入式装置到中心机房高性能计算机接入系统的关键技术进行研究，并实现了一个架构于 SCM-7050 嵌入式核心板的图像采集装置接入 HP RX4640 小型机的 Demo 系统。课题研究的主要工作包括：

(1) 针对核心板硬件平台进行 Linux 内核的剖析与精简、硬件驱动程序的改造、内核向 Flash 芯片的移植，以及引导程序的设计与烧写；

(2) 在嵌入式 Linux 平台上完成实时图像采集、传输、回放以及云台控制等一系列软件开发接口和扩展功能模块的设计；

(3) 针对控制系统地域分散，受控点通信不便等特点，进行了基于 GPRS 的无线通信信道的设计；

(4) 在详尽剖析 Linux 内核 TCP/IP 实现机制的基础上，结合接入系统的通信需求，改造内核的 TCP/IP 协议栈，提高传输性能；

(5) 分析 SMP 与 MPP 两种计算机系统实现高性能计算的软件支撑平台，使用 OpenMP 函数库在小型机上实现一个并行图像处理的示例程序。

课题的创新点首先体现在集成与应用的创新：运用高端接入系统实现嵌入式装置与 HPC 计算机的无缝对接，优势互补，为建立大规模高性能控制系统提供基础框架；其次是在改造 Linux 内核的 TCP/IP 协议栈时，引入数据对象和对象池双重管理机制来管理数据单元，类似于 CPU 内存访问中的一级和二级缓存，以提高

内存的利用率以及硬件缓存区级系统总线的利用率。

课题进一步的研究内容包括：运用软构件技术改造系统，提高构建各种控制系统中的软件可重用性；针对通信需求进一步优化内核的 TCP/IP 协议栈，提高接入信道的吞吐量与实时性；本课题研究的侧重点在于接入系统，对于后端高性能并行计算的算法研究属于另一层面的研究范畴，本文只是做了例证，这方面的研究有待深入。

关键词：嵌入式；TCP/IP 协议；Linux 系统

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

Because of its characteristics such as small-size and compact, rich interfaces, lower price, good adaptability and open source code, embedded devices based on Linux OS currently have been used widely as terminal and communication units by many control systems, assuming important tasks of data processing, data exchanging, command executing. However, due to its restriction on hardware and software resources, embedded devices usually possess neither superior intelligence nor ability to perform tasks of complex data processing or control-strategy optimizing for large or medium real-time system. Considering that tasks mentioned above need to be completed by high-performance computer (HPC) of the controlling center, it is necessary for us to launch researches on the access technology between embedded devices and HPC system. The possibility of such problems as mass data, time-delay sensitivity, and lack of wire channel makes high-efficient access scheme not an easy thing.

Originating from “the Intelligence Information Technology”, an item pertaining to the 985 Project, this issue has worked on key technology for the access system between embedded devices and HPC system, and developed a demo system that achieved the connection of image collecting unit working on the SCM-6237 embedded core clip and HP RX4640 minicomputer. The main work of this dissertation can be summarized as follows:

- (1) Anatomizing and simplifying Linux kernel, revising hardware driver program, transplanting kernel to flash clip, designing and burning BootLoader program on the hardware platform of core clip.

- (2) Implementing a series of software development interface for image real-time acquisition, transformation, back-forward showing and PTZ controlling as well as the design of expansion function module on the embedded Linux platform.

- (3) Designing wireless-communication channel based on GPRS, aiming at problems of dispersed controlling system and inconvenience communication among

supervised points.

(4) On the basis of detailed analysis on realization mechanism of TCP/IP for Linux system kernel, combined with the communication requirements for access system, revising the TCP/IP protocol stack to enhance the transformation performance.

(5) Analyzing the software platform for SMP and MPP computing system to realize high-performance computing, and carrying out a demo program for parallel image processing with OpenMP library.

The innovation of the issue is chiefly embodied in the following:

First in the integration and application, utilizing high-layer access system to realize seamless connection between embedded devices and HPC system, thus to make use of the advantages from both sides as well as provide fundamental framework for large-scale high-efficient control system.

Second in the rebuilding of TCP/IP protocol stack, introducing the double managerial mechanism of data-object and object pool to manage data units, which is similar to first cache and second cache of CPU memory accessing, thus enhancing utilizing rate of the memory and that of the system bus in the hardware buffer.

Further research includes: To improve the reusability of software in the aspect of rebuilding controlling system with soft-rebuilding technology; To further optimize TCP/IP stack in consideration of communication demand in order to increase channel throughput and its real-time efficiency; The article focuses on access system, and only offers exemplification on the research of backward high-performance parallel calculation which belongs to another category and needs further research.

Key Words: Embedded; TCP/IP; Linux System

目 录	
第一章 绪论	1
1.1 研究背景及课题意义	1
1.2 嵌入式接入技术概述	2
1.3 论文的组织结构	4
第二章 嵌入式接入系统整体设计	5
2.1 总体框架	5
2.2 嵌入式图像采集子系统设计与实现	5
2.2.1 嵌入式前端硬件平台	5
2.2.2 Linux 内核定制	7
2.2.3 文件系统制作	8
2.2.4 引导程序编译	8
2.2.5 图像采集驱动开发	10
2.2.6 图像采集子系统的实现	14
2.3 HPC 平台下图像分析子系统设计与实现	17
2.3.1 HPC 系统软硬件平台	17
2.3.2 图像分析子系统的实现	18
2.3.3 实时图像的并行处理	21
2.3.4 GPRS 无线数据传输	25
2.4 小结	27
第三章 嵌入式接入技术的优化改进	28
3.1 TCP/IP 协议栈内部机制分析	28
3.1.1 网络分层结构	28
3.1.2 TCP/IP 协议模型	28
3.1.3 Linux 内核 TCP/IP 协议	30

3.2 Linux 内核协议栈数据管理机制的改进	33
3.2.1 内核数据管理体系结构剖析	34
3.2.2 数据包发送机制分析	40
3.2.3 核心态内存的分配与释放	43
3.2.4 数据对象及对象池机制的设计	44
3.3 小结	56
第四章 性能评价及分析	57
4.1 内核调试函数	57
4.2 基于检测点的测试方案	58
4.3 具体实现	59
4.4 测试环境	61
4.5 结果及分析	63
4.5.1 测试结果	63
4.5.2 可信性分析	65
4.6 小结	67
第五章 结束语	68
参考文献	71
攻读硕士学位期间发表论文及科研情况	75
致谢	77

Content

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Background and Significance	1
1.2 Overview of Embedded Access Technology.....	2
1.3 Structure of this Article	4
Chapter 2 Design and Implementation of Embedded Access System....	5
2.1 Overall Framework	5
2.2 Image Capture Sub-System based on Embedded Linux.....	5
2.2.1 Hardware Platform.....	5
2.2.2 Linux Kernel Customization.....	7
2.2.3 Linux File System.....	8
2.2.4 Bootloader.....	8
2.2.5 Image Capture Driver	10
2.2.6 Implementation of Image Capture Sub-System.....	14
2.3 Image Processing Sub-System on the HPC Platform.....	17
2.3.1 Software and Hardware for HPC.....	17
2.3.2 Implementation of Image Processing Sub-System.....	18
2.3.3 Real-time Image Parellel Processing	21
2.3.4 GPRS Wireless Transmission	25
2.4 Summary	27
Chapter 3 Optimization and Improvement of Embedded Access Technology	28
3.1 Analysis on the Inner Mechanism of TCP/IP Protocol.....	28
3.1.1 Network Hierarchical Structure	28
3.1.2 TCP/IP Protocol Model.....	28
3.1.3 TCP/IP Implementation on Linux Kernel.....	30
3.2 Improvement of Data Management Mechanism in TCP/IP Protocol.....	33
3.2.1 Data Management Mechanism	34
3.2.2 Data Transmit Mechanism.....	40
3.2.3 Allocating and Release of Kernel Memory	43
3.2.4 Design of Data Object and Object Pool Mechanism.....	44
3.3 Summary	56
Chapter 4 Performance Evaluation and Analysis.....	57
4.1 Kernel Debugging Funicton.....	57
4.2 Testing Scheme Design Based on probing node	58
4.3 Testing Implementation.....	59

4.4 Testing Environment	61
4.5 Testing Results and Analysis	63
4.5.1 Results.....	63
4.5.2 Creditability Analysis	65
4.6 Summary	67
Chapter 5 Conclusion	68
Reference	71
Publication and Research Works	75
Acknowledgement	77

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪论

1.1 研究背景及课题意义

当今社会逐渐步入网络时代，Internet 已成为重要的基础信息设施。这方面的技术进步对于社会各个方面产生了积极的影响，许多领域都在不断探索、开发和利用网络的潜力。

高性能计算（High Performance Computing, HPC）是计算机科学的一个分支，它致力于开发超级计算机，研究并行算法和开发相关软件。运用有效的算法，快速完成科学研究、工程设计、金融、工业以及社会管理等领域内具有数据密集型、计算密集型和 I/O（数据输入输出）密集型的计算。依据应用模式，高性能计算应用需求可分为能力计算和容量计算。能力计算（Capability Computing）是一种基于大规模数据的计算需求，主要目的在于缩短计算时间，以期得到强大的处理性能^[1]；容量计算（Capacity Computing）是一种基于较小规模数据的计算需求，其目的在于提高吞吐性能，尽可能地高效执行多个处理任务。

目前，高性能计算所需的计算能力和存储能力较之同年代的 PC 机高出几十倍到几万倍。在实时图像检测分析、生物工程、新药研制、石油物探、运载器设计（航空航天、舰船、汽车）、材料工程、核爆模拟、尖端武器制造、密码研究和各类大规模信息处理等方面应用广泛^[2]。

以信息家电为代表的互联网时代的嵌入式产品，不仅为嵌入式市场展现了美好前景，注入了新的生命；同时也对嵌入式系统技术，特别是软件技术提出了新的挑战，主要包括支持日趋增长的功能密度、灵活的网络接入技术、轻便的移动应用以及多媒体的信息处理。人们对于网络的需求不仅仅表现在嵌入式信息设备硬件的连通，而是要求实现互联网上所有资源的全面共享，包括计算资源、存储资源、通信资源、软件资源、信息资源、知识资源等，最终实现网络虚拟环境的资源共享和协同工作，消除信息孤岛和资源孤岛。

由于软硬件资源的限制，目前大多数嵌入式系统还处于单独应用的阶段，以单个微处理为核心，与一些检测、伺服、指示、控制设备配合实现一定的功能，通

常不具有较高的智能，难以承担大中型实时系统的复杂数据处理和控制策略优化任务，这部分工作需要由控制中心的高性能计算机（HPC）来完成^[3]。由此需要研究嵌入式设备到 HPC 系统间的接入系统。同时，控制系统前后端之间的通信可能面临数据量巨大、对时延敏感、缺乏有线信道等问题，这也是目前接入系统所面临的困境。

将各种嵌入式设备接入高性能计算机是结合二者优势、实现前端嵌入式数据采集、后端 HPC 高速实时的数据处理分析的前提和关键。实现这种接入一方面将极大提高设备的计算能力和智能化水平，另一方面也将丰富高性能计算机的数据资源与应用范畴。

1.2 嵌入式接入技术概述

嵌入式系统以应用为中心，以半导体技术、控制技术、计算机技术和通讯技术为基础，强调硬件软件的协同性与整合性，软件与硬件可剪裁，以满足系统对功能、成本、体积和功耗等要求^[4]。主要作用是实时控制、监视、管理移动计算机、数据处理等，或者辅助其它设备运转，完成各种自动化处理的任務。最简单的嵌入式系统仅有执行单一功能的控制能力，在唯一的 ROM 中仅有实现单一功能的控制程序，无微型操作系统。复杂的嵌入式系统，例如个人数字助理(PDA)、手持电脑等，具有与 PC 几乎一样的功能，与 PC 的区别仅仅是将微型操作系统与应用软件嵌入在 ROM、RAM 与 FLASH 存储器中，而不是存贮于磁盘等载体中。

本质上，嵌入式接入技术是将各种嵌入式设备通过网络与高性能计算机进行连接，嵌入式设备只专注于实时数据采集、系统控制等轻量级服务，而海量数据的实时分析处理、复杂操作等交由后端高性能计算机（HPC）进行，充分发挥两者的优势，实现普通桌面应用系统所不能达到的服务性能。嵌入式接入技术的难点在于：如何利用嵌入式系统自身有限的资源对信息进行处理，实现实时快速的数据传输^[5]。

随着工业以太网传输速度的不断提高以及交换技术、全双工工作方式等技术的融入，以太网与工业通信网络的差距在逐步缩小。以太网本质上是一个物理层与链路层的协议，它规定了包括物理层的连线、电信号和介质访问层协议的内容，

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库